

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри МАХНВ

\_\_\_\_\_ Я. М. Корнієнко  
(підпис)

“ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### **ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за напрямом підготовки:** 13 – Машинобудування

**спеціальність:** 133 – Галузеве машинобудування

**спеціалізація:** Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

**на тему:** Модернізація теплообмінника установки виробництва метанолу

**Виконав студент IV курсу, групи ЛН-51**

Шахунов Михайло Олександрович

**Керівник проекту**

канд. техн. наук, ст. викл С. В. Гулієнко

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Консультанти:**

**з охорони праці**

канд. техн. наук, доцент І. М. Ковтун

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Рецензент:**

\_\_\_\_\_ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ М. О. Шахунов

Київ – 2019

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

Освітній ступінь: бакалавр

Напрямок підготовки: 13 – Машинобудування

Спеціальність: 133 – Галузеве машинобудування

Спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Я. М. Корнієнко

“\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

Шахунову Михайлу Олександровичу

**1. Тема проекту:** Модернізація теплообмінника установки виробництва метанолу.

Керівник проекту кандидат технічних наук, старший викладач Гулієнко С. В.

Затверджена наказом по університету від “\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

**2. Термін подання студентом проекту:** 1 червня 2019р.

**3. Вихідні дані до проекту:** чистий метанол; продуктивність – 10кг/год;  
температури: на вході в теплообмінник – 333 К, на виході – 293 К; для охолодження  
використовувати воду; температури води: на вході в теплообмінник – 281 К, на  
виході – 328 К

**4. Зміст пояснювальної записки:** а) основна частина: розглянути існуючі  
конструкції теплообмінників, обґрунтувати вибір конструкції апарата;  
проаналізувати обрану конструкцію в порівнянні з кращими вітчизняними та

світовими аналогами; здійснити розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції: параметричний, конструктивний та гідравлічний, розрахунки на міцність і надійність елементів конструкції апарату; виконати складальне креслення теплообмінника та його основних складальних одиниць і деталей; розробити рекомендації щодо монтажу та експлуатації теплообмінника; здійснити оцінку рівня стандартизації та уніфікації розробки;

б) охорона праці: провести аналіз відповідності апарата до вимог охорони праці, викласти основні вимоги безпечної експлуатації апарата;

в) рекомендації щодо монтажу та експлуатації: надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації теплообмінника;

#### **5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових**

**креслеників, плакатів, презентацій тощо):** принципова схема установки – А1, кресленик складальний: теплообмінник – А1, корпус – А1, розподільча камера – А2, кришка – А2, ілюстрація до технічної ідеї патенту – А3.

#### **6. Консультанти розділів проекту:**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І. М.		

**6. Дата видачі завдання:** 15 квітня 2019 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	2	3	4
1	Узгодження теми, вихідних даних, визначення джерел інформації. Обґрунтування актуальності проекту.	15.04.19	
2	Патентне дослідження. Формування змісту модернізації (на основі зміни технологічної схеми, конструкції апарату, його елементів, речовин).	18.04.19	
3	Опис установки. Схема установки. Вибір і опис конструкції теплообмінника. Технічна характеристика установки, апарату. Добір матеріалів.	20.04.19	
4	Параметричний розрахунок: визначення основних розмірів апарату. Розрахунок гидравлічного опору апарату	22.04.19	
5	Розробка складальних креслень апарату і його складальних одиниць. Добір конструктивних параметрів конструктивних елементів апарату	24.04.19	
6	Розрахунки на міцність. Розробка алгоритмів та програм розрахунку.	26.04.19	
7	Уточнення графічної частини проекту та специфікацій	15.05.19	
8	Обґрунтування економічної доцільності модернізації	20.05.19	
9	Розробка вимог до апарату з питань охорони праці	22.05.19	

1	2	3	4
10	Оформлення пояснювальної записки. Перевірка відповідності проекту діючим нормам за змістом і оформленням. Підготовка до захисту. Складення плану викладення доповіді, окремих питань.	30.05.19	
11	Попередній захист проекту	06.06.19	
12	Корегування проекту за результатами попереднього захисту. Отримання рецензії, відзиву. Підготовка до захисту	07.06.19	

**Студент**

\_\_\_\_\_ М. О. Шахунов  
(підпис)

**Керівник дипломного проекту**

\_\_\_\_\_ С. В. Гулієнко

## РЕФЕРАТ

УДК 661.721

Модернізація теплообмінника установки виробництва метанолу:  
Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»/ КПІ ім. Ігоря  
Сікорського; Керівник С. В. Гулієнко – К., 2019. –122 с.: Викон. –М. О.  
Шахунов – Бібліогр.: 96 с.

Пояснювальна записка складається із вступу, 8 розділів, висновків,  
переліку посилань із 26 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 99 с.  
основного тексту, 18 рисунків, 9 таблиць і 4 додатків.

Метою проекту є модернізація кожухотрубного теплообмінника для  
охолодження метанолу у процесі його виробництва, щодозволяє підвищити  
ефективність роботи теплообмінника за допомогою удосконалення конструкції  
шляхом заміни стандартних труб, на труби змінного діаметру.

Поставлена задача досягається аналітичним визначення основних  
розмірів апарата, виконанням параметричного, конструктивного, гідравлічного  
розрахунків та розрахунків на міцність основних вузлів та деталей конструкції,  
розробкою рекомендації до монтажу та експлуатації теплообмінника,  
здійсненням оцінки рівня стандартизації та уніфікації розробки, економічним  
обґрунтуванням модернізації апарата та оцінюванням його ефективності,  
проведенням аналізу відповідності апарату до вимог охорони праці. Виконано  
аналіз результатів та зроблено висновки. Наведено список використаної  
літератури.

Графічна частина дипломного проекту включає три креслення формату  
A1 та два креслення формату A2, що містить: технологічну схему виробництва  
метанолу, складальне креслення теплообмінника, креслення корпусу, креслення  
розподільчої камери, креслення кришки.

КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, ЗМІННИЙ ДІАМЕТР, МЕТАНОЛ.

## РЕФЕРАТ

УДК 661.721

Модернизация теплообменника установки производства метанола: Дипломный проект образовательно-квалификационного уровня «бакалавр» / КПИ им. Игоря Сикорского; Руководитель С. В. Гулиенко - М., 2019. - 122 с.: Выполн. –М. А. Шахунов - Библиогр.: 96 с.

Пояснительная записка состоит из введения, 8 глав, заключения, списка ссылок с 26 наименований. Общий объем работы составляет 99 с. основного текста, 18 рисунков, 9 таблиц и 4 приложений.

Целью проекта является модернизация кожухотрубного теплообменника для охлаждения метанола в процессе его производства, что позволяет повысить эффективность работы теплообменника с помощью усовершенствования конструкции путем замены стандартных труб, на трубы переменного диаметра.

Поставленная задача достигается аналитическим определением основных размеров аппарата, выполнением параметрического, гидравлического расчетов и расчетов на прочность основных узлов и деталей конструкции, разработкой рекомендации к монтажу и эксплуатации теплообменника, осуществлением оценки уровня стандартизации и унификации разработки, экономическим обоснованием модернизации аппарата и оценкой его эффективности, проведением анализа соответствия аппарата с требованиями охраны труда. Выполнен анализ результатов и сделаны выводы. Приведен список использованной литературы.

Графическая часть дипломного проекта включает три чертежи формата А1 и два чертежа формата А2, содержащую: технологическую схему производства метанола, сборочный чертеж теплообменника, чертеж корпуса, чертеж распределительной камеры, чертеж крышки.

КОЖУХОТРУБНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК, ПЕРЕМЕННЫЙ ДИАМЕТР, МЕТАНОЛ.

## ABSTRACT

UDC 661.721

The Bachelor Diploma project on the theme: “Modernization of the heat exchanger of the methanol production plant”. /National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”; Supervisor: S. Gulyenko - K., 2019. – 122 p.: Performer. –M. Shakhunov- Bibliography: 96 p.

The explanatory note consists of an introduction, 8 chapters, a conclusion, a list of references of 26 titles. The total amount of work is 99 pages. A main text: 18 figures, 9 tables and 4 addendums.

The objective of the study is the modernization of the shell and tube heat exchanger for cooling methanol during it's production, which allows to improve the efficiency of the heat exchanger by improving the design, by replacing standard pipes with pipes of variable diameter.

This object is achieved by the analytical determination of the main dimensions of the unit, the parametric analysis, the constructive calculations, the hydraulic calculations and calculations of the strength of the basic units and parts of the design, the development of recommendations for mounting installation and operation of the plate heat exchanger, the implementation assessment of the level of standardization and harmonization of development, the modernization of the system and justification of the assessment of its effectiveness; the analysis of correspondence of the requirements of the labor protections was conducted; the basic safety apparatus operation was outlined. The analysis of the results and conclusions was done. A list of references is given

The graphical part of the Diploma project consists of three drawings A1 and two drawings A2 format, comprising: the technological scheme of methanol production, assembling drawing of a heat exchanger, drawing of a case, drawing of a distribution chamber, drawing of a cover.

HEAT EXCHANGER, VARIABLE DIAMETER, METHANOL.



**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**  
**Інженерно-хімічний факультет**  
**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ**  
**на здобуття ступеня бакалавра**

**за напрямом підготовки:** 13 – Машинобудування

**спеціальність:** 133 – Галузеве машинобудування

**спеціалізація:** Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв

**на тему:** Модернізація теплообмінника установки виробництва метанолу

Київ – 2019

## Зміст

Вступ.....	13
1 Призначення та область використання апарата .....	15
1.1 Опис технологічної схеми .....	15
1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі .....	16
2 Технічна характеристика .....	18
3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції теплообмінника .....	19
3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата .....	19
3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами .....	20
3.3 Патентний огляд конструкцій .....	22
3.4 Вибір матеріалів конструкцій і апаратів .....	28
4 Охорона праці .....	29
5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій... 35	
5.1 Параметричний розрахунок .....	35
5.2 Визначення розмірів штуцерів .....	44
5.3 Гідравлічний розрахунок .....	46
5.4 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки .....	48
5.5 Розрахунок еліптичного днища .....	50
5.6 Розрахунок фланцевого з'єднання .....	52
5.7 Розрахунок опор теплообмінника .....	62
5.9 Розрахунок теплової ізоляції .....	75
5.10 Розрахунок укріплення отворів .....	78

					ЛН51.065116.001 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Модернізація теплообмінника установки виробництва метанолу	Літ.	Лист	Листів	
Разроб.		Шахунов М. О.							
Перев.		Гулієнко С.В.					10		
						КПІ ім. Ізгоря Сікорського,ІХФ,МАХНВ			
Н.Контр.									
Затв.									

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарату на виробництві метанолу .....	80
7 Рівень стандартизації та уніфікації .....	82
8 Економічна частина проекту .....	83
8.1 Техніко – економічні показники .....	84
8.2 Розрахунки витрат на проведення проектно-конструкторських робіт по удосконаленню теплообмінника .....	86
Висновок .....	91
Выводы .....	93
Conclusion .....	95
Перелік посилань .....	97
Додаток А Документація до патентного дослідження .....	100
Додаток Б Комп'ютерний розрахунок елементів теплообмінника .....	106
Додаток В Патенти, які використані в патентному дослідженні .....	109
Додаток Г Публікації автора .....	115

## Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

### Умовні позначення:

$F$  – площа теплообміну,  $\text{м}^2$ ;

$H, h$  – висота, м;

$C$  – прибавка до розрахункової товщини, м;

$D, d$  – діаметри, м;

$m$  – маса, кг;

$G$  – витрата, кг/с;

$Q$  – витрати теплоти, кг/с;

$t$  – температура, К;

$\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі з боку метанолу,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$ ;

$\alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі зі сторони води,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$ ;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$ ;

### Критерії:

$Nu$  – критерій Нуссельта;

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Pr$  – критерій Прандтля.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

На сьогоднішній день в Україні та світі метанол застосовується у багатьох галузях. Загальносвітові потужності виробництва метанолу сягають близько 95 тон/рік. У хімічній промисловості метанол застосовується у якості напівпродукту для багатьох промислових синтезів. В найбільшій кількості метанол використовується для отримання формальдегіду. У нафтопереробній промисловості метанол слугує селективним розчинником для очистки бензинів від меркаптанів, азеотропним агентом під час виділення толуолу ректифікацією. Враховуючи те, що метанол має високе октанове число – він може використовуватись як паливо для двигуна. Також, використовується для переетерифікації рослинних олій у біодизель.

Метанол містить різноманітні азеотропні суміші, через це край важливим є його очистка, для отримання чистого продукту. Чистий метанол отримується за допомогою багаторазової ректифікації.

Отже, модернізація установки виробництва метанолу є актуальним питанням яке потребує вирішення.

Метою роботи є проектування та модернізація теплообмінника, який використовується для охолодження кінцевого продукту.

У роботі необхідно описати конструкцію теплообмінника та його основних складальних одиниць та деталей, вибрати матеріали для його виготовлення, порівняти основні показники розробленої конструкції з аналогами, провести патентні дослідження та навести заходи щодо охорони праці. Провести параметричний розрахунок теплообмінника та розрахунки на міцність основних деталей та вузлів конструкції. Надати рекомендації щодо монтажу та експлуатації та визначити рівень стандартизації та уніфікації теплообмінника. Виконати техніко – економічне обґрунтування модернізації апарату. Виконати креслення технологічної схеми, складального креслення теплообмінника, розподільчої

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

камери, корпусу, кришки.

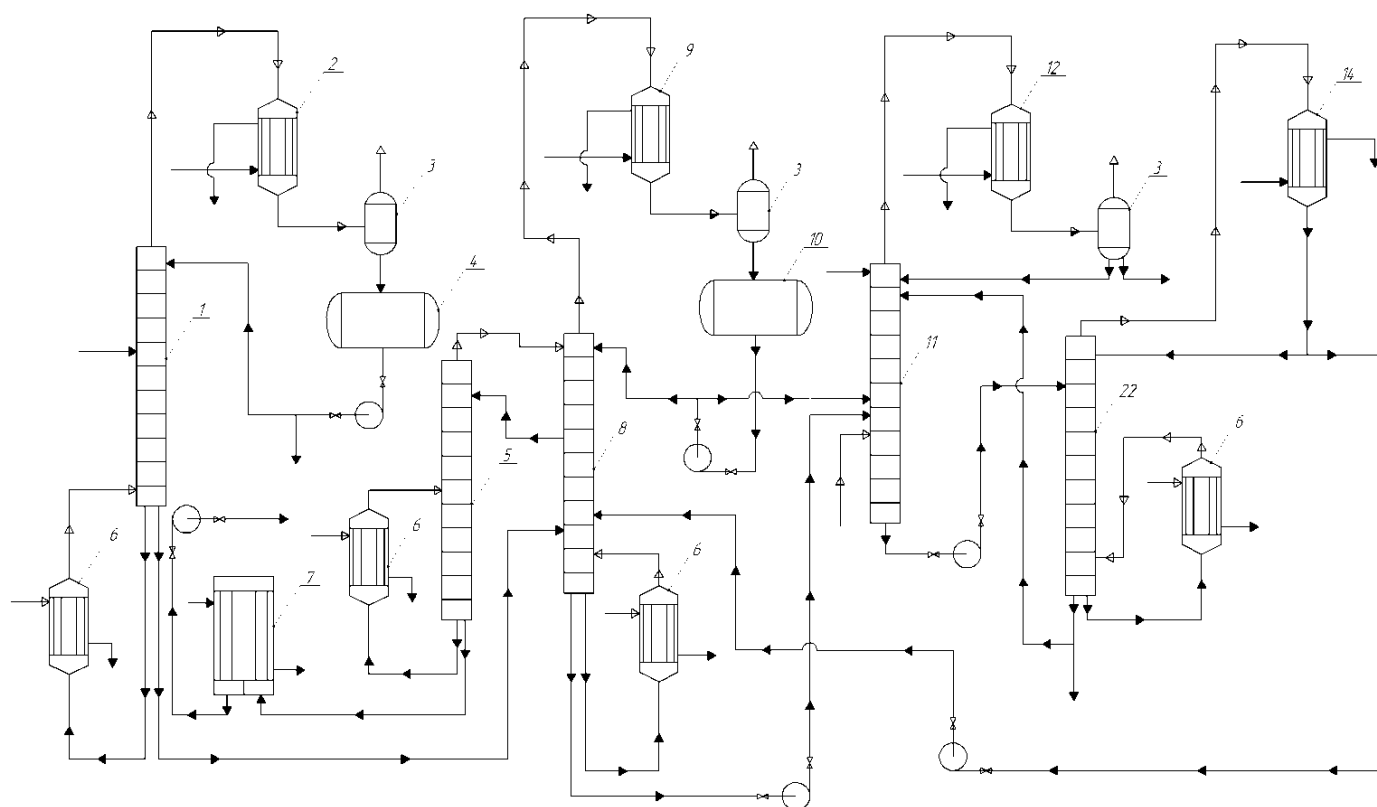
Дані для проектування були отримані 15.04.2019 р.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Призначення і область використання апарата

## 1.1 Опис технологічної схеми

Технологічна схема виробництва метанолу зображена на рисунку 1.1.



1, 5, 8, 13 – ректифікаційні колони ; 2, 9, 12, 14 – конденсатори;

3 – сепаратори; 4, 10 – збірники; 5 – випарний апарат; 6 – кип'ятильник;

7 – теплообмінник; 11 – колона екстрактивної перегонки;

Рисунок 1.1 – Схема отримання метанолу.

У колоні 1 протікає процес відгонки диметилового етеру зі спирту-сирцю. Пари етеру попадають у конденсатор 2. Конденсат відокремлюється від газів, що не конденсуються у сепараторі 3 і поступає у збірник 4, звідки деяка частка етеру подається на зрошення колони 1, а інше прямує у сховище. Кубовий залишок із колони 1 подається в колону 8, із якої відбирають три фракції. З середніх тарілок

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

відбирається метиловий спирт з незначним вмістом низькокиплячих домішок, відокремлюваних у колоні 5; із кубової частини колони 5 виходить метанол, який охолоджується у теплообмінному апараті 7, після чого транспортується у сховище. З верхніх тарілок колони 8 відводять пари низькокиплячих сполук зі значною кількістю парів метанолу. Пари потрапляють у конденсатор 9; після відділення від газів у сепараторі, конденсат подається в збірник 10. Частка цього конденсату застосовується як флегма для зрошення колони 8, а залишок потрапляє в колону екстрактивної перегонки 11. Кубова рідина із колони 8 також подається у колону 11. Для обігріву колони 11 використовується перегріта пара, а для її зрошення - вода. При розбавленні рідини в колоні водою азеотропні суміші руйнуються і полегшується відгонка домішок із спирту. Пароподібні домішки конденсуються в апараті 12; частина конденсату повертається на зрошення колони 11, залишок виводять із системи. Сполуки, які не конденсуються після відділення від рідини у сепараторі 3 видаляють в атмосферу. Із нижньої частини колони 11 розведений метанол передають в колону 13. Концентрований метанол із конденсатора 14 направляють у колону 8 для вилучення метанолу. Частина кубової рідини із колони 13 потрапляє на зрошення колони 11, залишок виводять із системи.

## 1.2 Вибір типу апарата та його місце в технологічній схемі

Теплообмінник призначений для охолодження метанолу. В якості охолоджувального агенту застосовуються вода. Метанол, що охолоджується, надходить в трубний простір, а вода поступає у міжтрубний простір. Для даного процесу потрібен теплообмінний апарат, який максимально відповідає вимогам, які поставлені технологічними умовами. Виходячи з того, що різниця температур між теплоносіями не перевищує 50 К, то допоміжні засоби для зняття термічних напружень, повздовжнього видовження корпусу і труб не потрібні. Оскільки в

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



теплообмінному апараті не передбачені спеціальні умови протікання процесу, окрім значних температурних навантажень, обрано кожухотрубний теплообмінник. Апарати цього типу більш розповсюджені та відрізняються зручністю в експлуатації.

Область застосування: хімічна.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

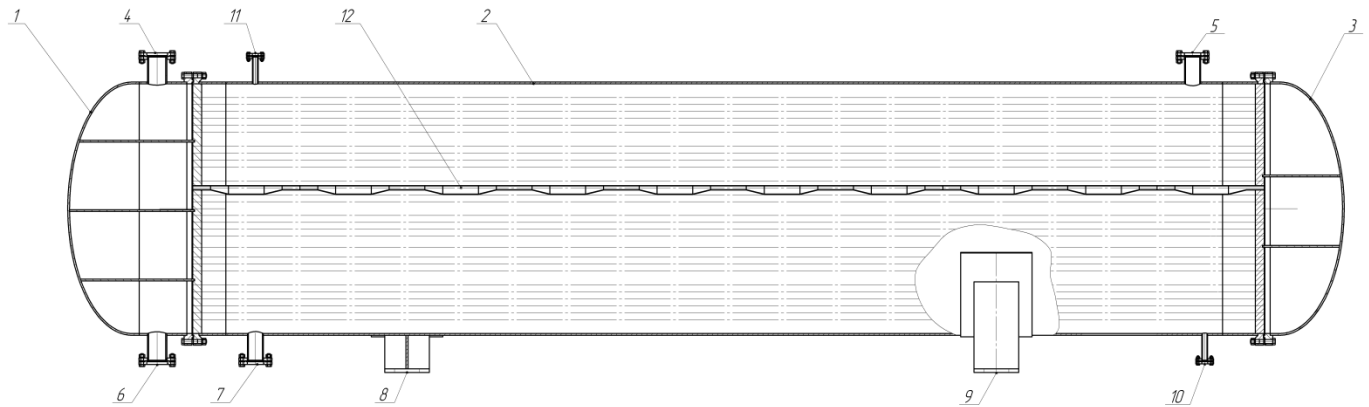
## 2 Технічна характеристика

Тиск у трубному просторі, МПа	0,1;
тиск у міжтрубному просторі, МПа	0,1;
початкова температура метанолу, К	333;
кінцева температура метанолу, К	293;
початкова температура води, К	281;
кінцева температура води, К	328;
загальна поверхня теплообміну, м <sup>2</sup>	252;
загальна кількість труб, шт	360;
діаметр апарата, м	1,4;
зовнішній діаметр труб, м	0,037;
внутрішній діаметр труб, м	0,033;
довжина труб апарата, м	6;
товщина стінки апарата, м	0,01;
довжина апарата, м	7,150;
ширина апарата, м	1,530;
висота апарата, м	1,800;
маса апарата, кг	16260.

### 3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції теплообмінника

#### 3.1 Опис конструкції, основних складальних одиниць та деталей апарата

Схема показана на рисунку 3.1.



- 1 – розподільна камера, 2 – корпус, 3 – кришка,  
4 – штуцер для входу метанолу, 5 – штуцер для виходу води,  
6 – штуцер для виходу метанолу, 7 – штуцер для входу води,  
8 – нерухома опора, 9 – рухома опора,  
10– штуцер дренажний, 11 – штуцер для виходу пари, 12 – труби.

Рисунок 3.1 – Схема теплообмінного апарату

У трубний простір, через штуцер 4 подається метанол з температурою 333 Кі тиском 0,1 МПа, проходить через труби 12, та виходить через штуцер 6 з температурою 293 К. Через штуцер 7 в між трубний простір подається вода.

Обтікаючи трубний пучок вода вбирає в себе тепло, після чого відводиться через штуцер 5. Корпус виконано циліндричної форми, до якого приварений трубний пучок. Для зменшення габаритів зроблені 6 ходів трубного простору за допомогою перегородок.

Для інтенсифікації процесу теплообміну, та підвищенню ступеню

турбулізації встановлені труби 12 змінного діаметру з почерговими циліндричними ділянками і з'єднувальними конфузорними і дифузорними ділянками, циліндричні ділянки розташовані ексцентрично.

### **3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами**

Мета: порівняння конструкцій вже існуючих теплообмінників з розроблюваним апаратом.

Основними вимогами при конструюванні та вибору теплообмінного апарата є: забезпечення найбільш високого коефіцієнта теплопередачі; найменшого гідравлічного опору; компактність і найменша витрата матеріалів; надійність і герметичність у поєднанні з розбірністю і доступністю поверхні теплообміну для механічного очищення її від забруднень; уніфікація вузлів і деталей; технологічність механізованого виготовлення широких рядів поверхонь теплообміну для різного діапазону робочих температур, тисків і т.д.

Встановлення труб U-подібної форми дозволяє компенсувати температурні деформації. Через наявність лише однієї трубної решітки спрощується і полегшується конструкція апарата. Крім того, у теплообмінному обладнанні запропонованої конструкції досить інтенсивний теплообмін. Проте, досить значними недоліками є складність очищення внутрішньої поверхні труб та складання трубчатки.

Натомість, у теплообміннику із плаваючою головкою нижня трубна решітка апарата є рухомою, що дозволяє всьому пучку труб вільно переміщуватися незалежно від корпусу апарата. Це запобігає небезпечній температурній деформації. Крім того, встановлення плаваючої головки дозволяє вирішити такі проблеми як: очищення внутрішньої поверхні труб та полегшує складання трубчатки. Проте, недоліками є ускладнення та обважування

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		20

конструкції.

Теплообмінник з нерухомими трубками являє собою саму легку в експлуатації, та найменш металоємну конструкцію.

У таблиці 3.1 подана коротка порівняльна характеристика даних теплообмінників.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика теплообмінників

Основні технологічні показники	із U-подібними трубками	із плаваючою головкою	з нерухомими трубками (апарат, що проектується)	вертикальний
Поверхня теплообміну, бали (1 – 4)	3	2	3	1
Інтенсивність теплообміну бали (1 – 4)	3	2	4	1
Температура середовищ, бали (1 – 4)	3	4	3	1
Надлишковий тиск у кожусі, бали (1 – 4)	1	3	3	2
Складність виготовлення, бали (4 – 1)	2	4	3	3
Складність експлуатації, бали (4 – 1)	3	3	4	1
Σ	16	16	20	9

Висновок: Порівняння теплообмінного апарату, що проектується з аналогами показало, що вибрана конструкція теплообмінника, відповідає заданим умовам, найпростіша експлуатації.

### 3.3 Патентний огляд конструкцій

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти розробленої конструкції даного теплообмінника був проведений патентний пошук. Результати пошуку наведені в додатку А. Предметом патентного пошуку є теплообмінник. Для докладного аналізу було обрано патенти [1-5].

Аналіз патентів дозволяє зробити висновок, що в галузі теплообмінних апаратів значна кількість розробок спрямована на патентування різних конструкцій теплообмінників.

У проектованому апараті не використовуються конструктивні рішення, захищені діючими патентами, апарат є патентно чистим.

Теплообмінник, труби якого заповнені насадковими тілами[1], що зображений на рисунку 3.2, може бути використаний в хімічній, харчовій та споріднених з ними галузях промисловості.

Переваги апарата:

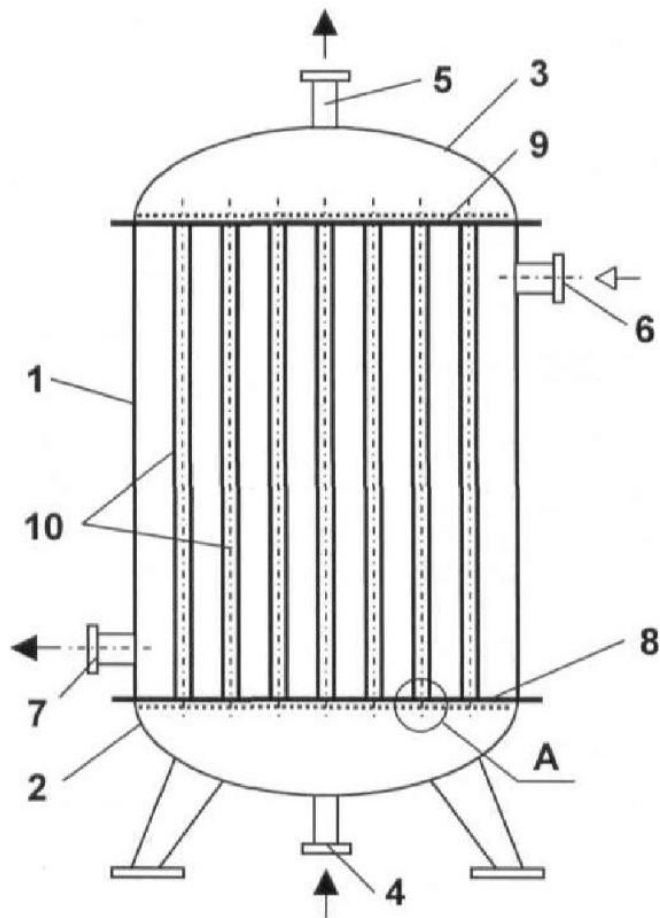
- 1) покращена тепловіддача;
- 2) висока ефективність роботи.

Недоліки апарата:

- 1) складність обслуговування та монтажу;
- 2) висока вартість;

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

3) низька конкурентоспроможність вертикального теплообмінника у порівнянні з горизонтальними аналогами.



1 – корпус; 2, 3 – кришки; 4, 5, 6, 7 – штуцери;  
8, 9 – трубні решітки;  
10 – теплообмінні труби;

Рисунок 3.2 – Схема теплообмінника

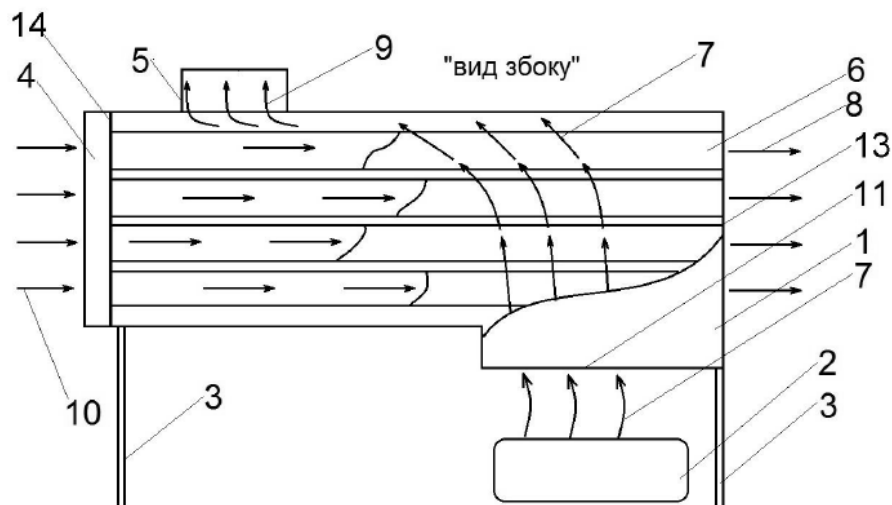
Портативний теплообмінник [2], що зображений на рисунку 3.3, може бути використаний для обігріву приміщень, наметів і т.ін.

Переваги апарата:

- 1) малі габарити;
- 2) не залежить від стаціонарного джерела живлення;
- 3) низька металоємність.

Недоліки апарата:

- 1) не надійна конструкція;
- 2) мала ефективність.

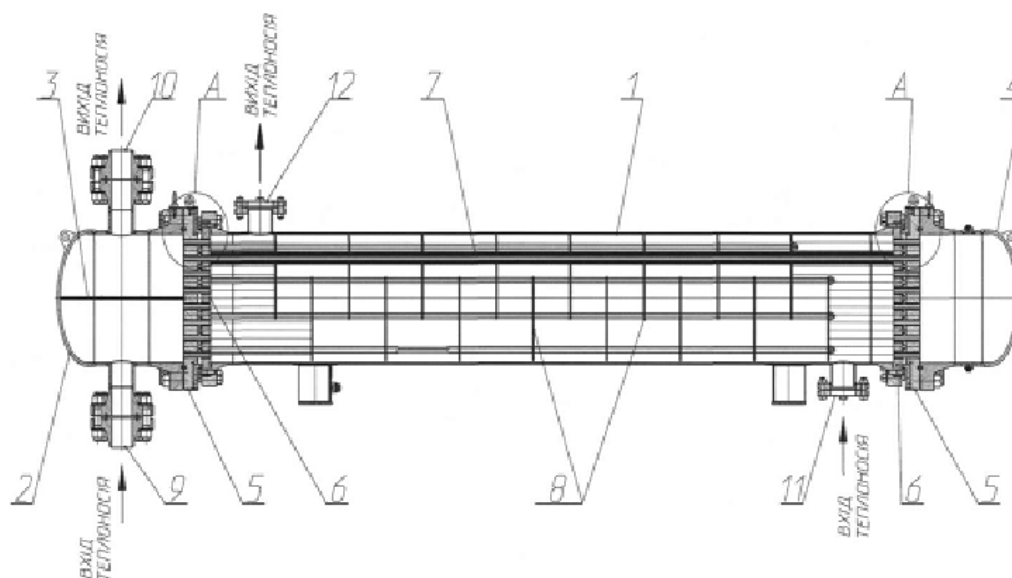


- 1 – металевий кожух; 2 – нагрівальний пристрій; 3 – підніжки;  
 4 – задня стінка; 5 – димогарний отвір; 6 – теплообмінні труби;  
 7 – полум'я;

Рисунок 3.3 – Схема портативного теплообмінника

Кожухотрубний теплообмінник з безпечним каналом[3], що зображений на рисунку 3.4 може бути використаний в хімічній, нафтохімічній, газовій, харчовій і фармацевтичній промисловості та енергетиці.





1 – корпус; 2 – кришка; 3 – перегородка; 4- кришка;  
5, 6 – трубна решітка; 7 – трубний пучок; 8 – сегментні перегородки;

Рисунок 3.4–Теплообмінник з безпечним каналом

Переваги апарата:

- 1) запобігання потраплянню небезпечній речовини у навколишнє середовище
- 2) надійна конструкція

Недоліки апарата:

- 1) складна конструкція;
- 2) велика металоємність;
- 3) доцільність застосування тільки у вузький галузі.

Теплообмінник з пружним елементом[4], що зображений на рисунку 3.5 може бути використаний в хімічній, нафтопереробній та споріднених з ними галузях промисловості для теплообміну між рідкими та газоподібними середовищами.

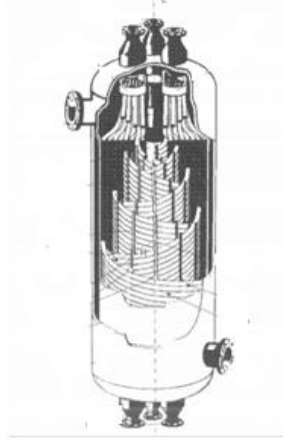


Рисунок 3.5 – Теплообмінник з пружним елементом

Переваги апарата:

- 1) відсутність теплових деформацій у пружному елементі.

Недоліки апарата:

- 1) висока вартість;
- 2) складність конструкції, що у свою чергу ускладнює ремонт та експлуатацію.

Теплообмінник, труби якого розташовані по сторонах багатогранника [5], що зображений на рисунку 3.6, може бути використаний в хімічній, харчовій та споріднених з ними галузях промисловості.

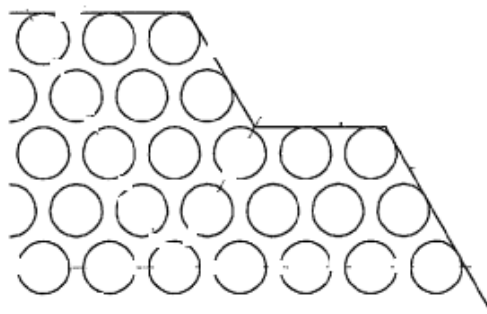


Рисунок 3.6–Теплообмінник

Переваги апарата:

- 1) ефективне використання внутрішнього простору апарата;
- 2) порівняно мала вартість.

Недоліки апарата:

- 1) не стандартна конструкція;
- 2) складність монтажу;
- 3) максимальна ефективність досягається тільки при застосуванні обичайки багатокутної форми, що несе за собою підвищення вартості та не надійність конструкції.

Висновок: в результаті проведених патентних досліджень встановлено, що запатентовані винаходи та корисні моделі стосуються як апаратів цілому, так і його складових частин; аналіз патентів дає змогу зробити висновок, що в галузі теплообміну основні розробки спрямовані на патентування нових рішень в напрямках підвищення ефективності апаратів, шляхом встановлення додаткових вузлів. Патентний огляд встановив, що розроблений кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою є патентно чистим, модернізованим та готовим до експлуатації.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

### 3.4 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

Корпус теплообмінника, еліптичне днище, розподільна камера, штуцера, фланці, перегородки, опори виготовлені зі сталі 12X18H10T згідно з [6].

Сталь марки 12X18H10T відповідає технічним вимогам [7], працює в інтервалі температур від мінус -30 °С до 550 °С та тиску до 10 МПа[8].

Теплообмінні труби виготовлені із сталі 12X18H10T згідно [9] та [10]. Сталь марки 12X18H10T має відповідати технічним вимогам [7]. Працює в інтервалі температур від мінус – 30 °С до 550 °С та тиску до 10 МПа.

Болти виготовлені із сталі 35Х відповідно до ГОСТ 7798-70, ISO 4014.

Гайки обрані згідно вимог ГОСТ 5915-70.

Шайби виготовлені відповідно з ГОСТ 6402-70.

Прокладки виготовляються з пароніту згідно до ГОСТ 28759.6-90 та ГОСТ 15180-86. Прокладка такого типу використовується при умовному тиску, який не перевищує 2,5 МПа.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

## 4 Охорона праці

Охорона праці і оточуючого середовища включає в себе розгляд таких питань, як безпека праці, запобігання травматизму, професійних захворювань та аварійних ситуацій, питання з правової охорони праці.

Розрахунки та рекомендації обрані з [11]

Відповідно до теми дипломного проекту «Модернізація теплообмінника установки виробництва метанолу» на стадії виробництва при роботі лінії розробляються заходи щодо забезпечення безпечних умов праці.

Установка встановлюється в цеху, обслуговується оператором, який працює у кабіні оператора.  $S=20 \text{ м}^2$ ;  $V=60 \text{ м}^3$ .

Метанол пожежо- та вибухонебезпечна речовина. Для вводу метанолу використовується метанольна установка.

Небезпечними виробничими факторами є:

- повітря робочої зони ;
- вибухо- та пожежна безпека;
- виробничий шум;
- електробезпека
- промислове освітлення;

Повітря робочої зони:

Оператор виконує свою роботу у стаціонарній установці. Таку роботу відносять до важкої категорії робіт. У зв'язку з тим, що установка розташована в умовах шуму, робота проводиться в 2 зміни. Витрати енергії при таких умовах праці складають більше 293 Дж/с. У зв'язку з цим передбачено можливість відпочинку персоналу в закритому приміщенні.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Параметри мікроклімату приміщення, а саме температури повітря, параметри відносної вологості, швидкості переміщення повітря в робочій зоні (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – параметри повітря

Сезон року	Категорія робіт – III		
	Оптимальна температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря(не більше ніж), м/с
Холодний	16-18	40-60	0,1
Теплий	18-20	40-60	0,4

Параметри повітря робочої зони відповідають ДСН 3.3.6.042-99. Забезпечення параметрів здійснюється в зимовий час за допомогою водяного опалення з температурою теплоносія 70-90 °C, а в теплий час року вентиляцією.

Шкідливою речовиною у виробництві є метанол та його пари. За ГДК шкідливих речовин у повітрі вміст метанолу не повинен перевищувати 5 мг / м<sup>3</sup> При досягненні даної концентрації – автоматично вмикається система примусової вентиляції. Після цих заходів, фактична концентрація не перевищує 2 мг / м<sup>3</sup>

Використовуються такі індивідуальні засоби захисту: Респіратор Клен ГП КД, відповідно ГОСТ 12.1.005-88/98.

Пожежна безпека:

Температура самоспалахування метанолу 450° C.

Категорія приміщень В, відповідно до ОНТП 24 клас зони 2. Вогнестійкість будинку за СНІП 2.01.02-85 відповідає степені вогнестійкості II.

Серед причин, що можуть викликати загорання, найбільше ймовірними є такі:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		30

- використання вогню в неналежному місці;
- загоряння ізоляції електропроводки;
- струми короткого замикання і навантаження кабелів живлення;
- несправність електроустаткування.

Запобігання загоряння забезпечується такими мірами:

- паління тільки у відведених для цього місцях;
- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;
- своєчасне проведення інструктажу з техніки безпеки серед обслуговуючого персоналу;
- організація агітації по протипожежній безпеці;
- наявність засобів пожежегасіння в безпосередній близькості від установки(пісок, ковдри, вогнегасники).

Для гасіння невеликих ділянок загоряння при відключеному електроустаткуванні застосовують вуглекисневі вогнегасники ОУ-5 (3 шт.) згідно ГОСТ 8050-85. Для гасіння включених електромереж приймаємо порошкові вогнегасники ОП-10 (3 шт.) згідно ГОСТ 30612-99.

У приміщенні з установкою, на відстані 30 метрів один від одного встановлені пожежні гідранти з рукавами довжиною до 10 метрів. Відстань до пожежного виходу не більш 40 метрів.

Кількість виходів - не менш двох. Ширина прорізу двері еваковиходу - 2 метри. Двері еваковиходу відкриваються назовні.

Захист навколишнього середовища забезпечується наявністю витяжного устаткування. Продукти надходять на підприємство в герметичних контейнерах.

Виробничий шум:

Джерелами шуму на установці є:

- насоси;
- електродвигуни.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Фактичний рівень шуму у цеху  $L = 95$  дБА.

Заходи, для зниження рівня шуму:

- персонал використовує навушники ПШН-Б;
- установка захисних кожухів і екрану.

Після вживання заходів рівень шуму не перевищує допустимих величин, установлених за ДСН 3.3.6.037-99 (80 дБА) і дорівнює 70 дБА.

Електробезпека:

Для живлення установки використовується трифазна напруга 220/380 В з частотою 50 Гц. Нейтраль ізольована.

Причини ураження струмом обслуговуючого персоналу можуть бути такими:

- помилкове включення установки;
- старіння ізоляції і втрата нею ізоляційних властивостей;
- випадки дотику людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування;
- старіння ізоляції і втрата нею ізоляційних властивостей;
- дотик до частин установки, що можуть опинитися під напругою у випадку короткого замикання.
- пробій на корпус

Обов'язково нанести червоні незмивні знаки "Земля" біля затискачів заземлення за ГОСТ 21.1.030-75.

Ізоляція, а саме її електрична міцність - перевіряється на випробувальну напругу 200 В частотою 50 Гц протягом 1 хвилини.

Опір ізоляції має бути не менше 0,5 МОм.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



Електрична апаратура, яка встановлена всередині приміщень, має ступінь захисту IP–54 ГОСТ 14254–80.

Ізоляція провідників вимірюється за допомогою мегаомметра 11044 ТУ 25–04–798–18.

Напруга вимірюється за допомогою вольтметра 351512 ТУ 25–04–1970–80.

Ступінь захисту електричної апаратури всередині приміщень контролюється за ГОСТ 14254–80 .

Захисне заземлення в аварійному режимі  $R_{\text{зз}}=3,8\text{Ом}$  за ГОСТ 12.1.030-82.

З метою запобігання травм приймаються такі заходи безпеки:

- рубильники вмикання установки знаходяться у спеціальній шафі;
- вузли установки, що можуть виявитися під напругою, мають зажими для приєднання заземлення.;
- сигнальні лампи індикації вмикання електроустаткування виведені на панель керування;
- дроти проведені в металевих рукавах ;
- передбачається спеціальне захисне вимикання електродвигунів у випадку враження людини струмом.

Освітлення:

Для забезпечення виробничої діяльності на підприємствах необхідно правильно спроектувати та виконати освітлення. Від умов освітлення, у значній мірі, залежить стан нервової системи людини, зору та безпека на виробництві.

Використання природного освітлення приміщень вимагається санітарними нормами, тому що воно стимулює і нормалізує роботу різних систем організму та покращує його захисні функції, що покращить працездатність працівників

В денний час виробниче приміщення освітлюється природним світлом. Робота з обслуговування обладнання відноситься до загального спостереження за

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

технологічним процесом. У такому випадку робоче місце оператора повинно мати освітлення робочої зони  $E_{\text{нор}}=150$  лк.

Обладнання працює в 3 зміни, виробництво безперервне.

Розрахунок освітлення виконується для темного часу доби, тому застосовуємо тільки загальну освітленість люмінесцентними лампами, потужністю 8 Вт, з світловим потоком  $F = 800$  лм и освітленістю  $E_{\phi} = 100$  лк.

Тоді фактична освітленість буде  $E_{\phi}=200$  лк, що і відповідає ДБНВ 2.5.28-2006.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій

### 5.1 Параметричний розрахунок теплообмінника

Мета розрахунку: визначення площі поверхні теплообміну, а також основних розмірів горизонтального теплообмінника для охолодження 10 кг/с метанолу.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.1.

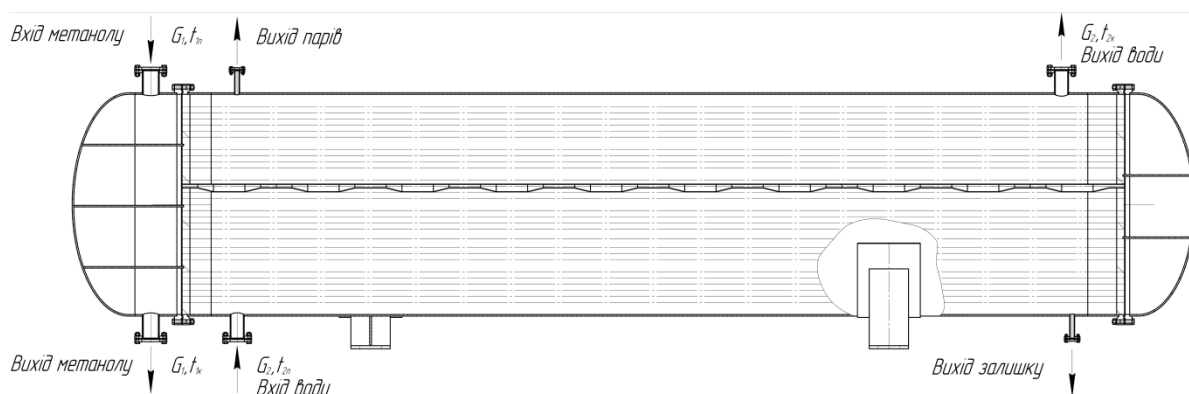


Рисунок 5.1– Розрахункова схема руху потоків у теплообміннику.

Вихідні дані:

Прийmemo для трубного простору індекс '1', а для міжтрубного простору індекс '2'.

Витрата метанолу $G_1$ , кг/с	10;
початкова температура метанолу $t_{1п}$ , К	333;
кінцева температура метанолу $t_{1к}$ , К	293;
початкова температура води $t_{2п}$ , К	281;
кінцева температура води $t_{2к}$ , К	328.

Розрахунок ведеться по [12].

Температурна схема:

$$t_{1\text{п}} = 333\text{K} \rightarrow t_{2\text{к}} = 293\text{K};$$

$$t_{2\text{п}} = 281\text{K} \rightarrow t_{2\text{к}} = 328\text{K}.$$

$$333 \rightarrow 293$$

$$328 \leftarrow 281$$

Більша різниця температур:

$$\Delta t_{\text{б}} = t_{2\text{к}} - t_{1\text{п}} = 293 - 281 = 12\text{K}.$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{2\text{п}} - t_{1\text{к}} = 333 - 328 = 5\text{K}.$$

Оскільки  $\Delta t_{\text{б}} / \Delta t_{\text{м}} = 2,4 > 2$ , то середню різницю температур визначаємо як середнєлогаріфмічну різницю:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} = \frac{12 - 5}{\ln\left(\frac{12}{5}\right)} = 7,996\text{K}.$$

Середня температура води:

$$t_{2\text{ср}} = \frac{t_{2\text{п}} + t_{2\text{к}}}{2} = \frac{328 + 281}{2} = 304,5\text{K}.$$

Середня температура метанолу:

$$t_{1\text{ср}} = t_{2\text{ср}} + \Delta t_{\text{ср}} = 304,5 + 7,996 = 312,496\text{K}.$$

Витрати теплоти на з урахуванням втрат:

$$Q = 1,05 \cdot G_1 c_1 (t_{1\text{к}} - t_{1\text{п}}) = 1,05 \cdot 10 \cdot 2612 \cdot (333 - 293) = 1097000 \text{ Вт},$$

де  $c_1 = 2612 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$  - питома теплоємність метанолу при  $t_{1\text{ср}} = 312,496\text{K}$  [13].

Витрати води:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$G_2 = \frac{Q}{c_2(t_{2к} - t_{2п})} = \frac{1097000}{4174(328 - 281)} = 5,592 \text{ кг/с},$$

де  $c_2 = 4174 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$  - питома теплоємність води при  $t_{2cp} = 304,5 \text{ K}$  [13].

Об'ємна витрата:

$$V_1 = \frac{G_1}{\rho_1} = \frac{10}{780} = 0,013 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} = \frac{5,592}{995,2} = 5,619 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с},$$

де  $\rho_1 = 780 \text{ кг/м}^3$  - густина метанолу при  $t_{1cp} = 312,496 \text{ K}$  [13];

$\rho_2 = 995,2 \text{ кг/м}^3$  - густина води при  $t_{2cp} = 304,5 \text{ K}$  [13].

Орієнтовно визначаємо максимальну величину площі теплообміну:

$$F_{\max} = \frac{Q}{K_{\min} \Delta t_{cp}} = \frac{1097000}{270 \cdot 7,996} = 508,161 \text{ м}^2,$$

де  $K_{\min} = 270 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$  - мінімальне значення коефіцієнта теплопередачі [12].

Найкращі умови теплообміну відповідають турбулентному режиму руху теплоносія, коли критерій Рейнольдса:

$$Re' \geq 15000$$

Для забезпечення турбулентної течії в трубах швидкість повинна бути:

$$\omega'_1 = \frac{Re' \cdot \mu_1}{d_{1e} \cdot \rho_1} = \frac{15000 \cdot 0,45 \cdot 10^{-3}}{0,033 \cdot 780} = 0,262 \text{ м/с},$$

$\mu_1 = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості метанолу при  $t_{1cp} = 312,496 \text{ K}$  [13];

$d_{1e} = 0,033 \text{ м}$  - внутрішній еквівалентний діаметр теплообмінної труби.

Кількість необхідних трубзмінного діаметру на один хід, при  $Re = 15000$  становить:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$n' = \frac{V_1}{0,785 \cdot d_{1e}^2 \cdot \omega'_1} = \frac{0,013}{0,785 \cdot 0,033^2 \cdot 0,262} = 58.$$

Попередньо обираємо для теплообміну шестиходовий апарат із внутрішнім діаметром кожуха  $D = 1400$  мм, довжиною труб  $L = 6$  м (табл. 4.12) [12]. Загальна площа теплообміну буде відрізняється від гостованої за рахунок змінення конструкції труб. Площа однієї труби складає  $0,7 \text{ м}^2$ . Отже, для сумарної кількості труб - загальна площа теплообміну складає  $252 \text{ м}^2$ .

Отже маємо такі параметри теплообмінника:

внутрішній діаметр $D$ , мм	1400;
число ходів $z$	6;
число труб на один хід, $n$	60;
довжина труб $L$ , м	6;
поверхня теплообміну $F$ , $\text{м}^2$	252.

Уточнюємо загальну кількість труб для обраного теплообмінника:

$$n_{\text{заг}} = \frac{F}{\pi \cdot d_{2e} \cdot L} = \frac{252}{3,14 \cdot 0,037 \cdot 6} = 360.$$

Уточнення поверхні теплообміну:

Швидкість метанолу в трубному просторі:

$$\omega_1 = \frac{V_1}{0,785 \cdot d_{1e} \cdot n} = \frac{0,013}{0,785 \cdot 0,033 \cdot 60} = 0,25 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для метанолу:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{1e} \cdot \rho_1}{\mu_1} = \frac{0,25 \cdot 0,033 \cdot 780}{0,45 \cdot 10^{-3}} = 14300.$$

Критерій Прандля для метанолу при  $t_{1cp} = 312,496 \text{ К}$ :

$$Pr_1 = \frac{c_1 \cdot \mu_1}{\lambda_1} = \frac{2612 \cdot 0,45 \cdot 10^{-3}}{0,198} = 5,936,$$

де  $\lambda_1 = 0,198 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  - коефіцієнт теплопровідності метанолу при  $t_{1cp} = 312,496 \text{ К}$  [13].

Критерій Нуссельта трубного простору:

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_1}{Pr_{ст1}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_1 = 0,021 \cdot 14300^{0,8} \cdot 5,936^{0,43} \cdot 0,9^{0,25} \cdot 1 = 92,81,$$

де  $\frac{Pr_1}{Pr_{ст1}} = 0,9$  - приймаємо умовно спираючись на процес охолодження; коефіцієнт

$\varepsilon_1$  приймаємо 1.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до метанолу:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{1e}} = \frac{92,81 \cdot 0,198}{0,033} = 556,861 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Швидкість води в міжтрубному просторі:

$$\omega_2 = \frac{V_2}{S_2} = \frac{0,0056}{0,036} = 0,156 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для води:

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_{2e} \cdot \rho_2}{\mu_2} = \frac{0,156 \cdot 0,037 \cdot 995,2}{0,802 \cdot 10^{-3}} = 7166,$$

де  $\mu_2 = 0,802 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості води при  $t_{2cp} = 304,5 \text{ К}$  [13].

Критерій Прандля для води:

$$Pr_2 = \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2} = \frac{2297 \cdot 11,832 \cdot 10^{-6}}{0,615} = 0,776,$$

де  $\lambda_2 = 0,615 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  - коефіцієнт теплопровідності води при  $t_{2cp} = 304,5 \text{ К}$  [13].

Критерій Нуссельта для міжтрубного простору:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$Nu_2 = 0,4 \cdot \varepsilon_\phi \cdot Re_2^{0,6} \cdot Pr_2^{0,36} \cdot \left( \frac{Pr_2}{Pr_{ст2}} \right)^{0,25} = 0,4 \cdot 1 \cdot 7166^{0,6} \cdot 5,443^{0,36} \cdot 0,9^{0,25} = 147,471,$$

де  $\frac{Pr_2}{Pr_{ст2}} = 0,9$  - приймаємо умовно за рахунок процесу охолодження; коефіцієнт  $\varepsilon_\phi$  приймаємо 1.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{2e}} = \frac{147,471 \cdot 0,615}{0,037} = 2451 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Згідно з рекомендацією таблиця XXXI, ст. 531 [12], приймемо теплопровідність з боку метанолу  $r_{забр1} = 2900 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , теплопровідність з боку води  $r_{забр1} = 2500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Сумарний термічний опір стінки і забруднень:

$$\frac{1}{\sum r_{ст}} = \frac{1}{\frac{1}{r_{забр1}} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{r_{забр2}}} = \frac{1}{\frac{1}{2900} + \frac{0,002}{17} + \frac{1}{2500}} = 1159 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}},$$

де  $\lambda_{ст} = 17 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  - коефіцієнт теплопровідності нержавіючої сталі;

$\delta_{ст}$  - товщина стінки.

$$\delta_{ст} = \frac{d_1 - d_2}{2} = \frac{0,037 - 0,033}{2} = 0,002 \text{ м}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{556,861} + \frac{1}{1159} + \frac{1}{2451}} = 326,135 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}.$$

Поверхнева густина теплового потоку:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



$$q = K \cdot \Delta t_{\text{cp}} = 326,135 \cdot 7,996 = 2608 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Знайдемо температуру стінок:

$$t_{1\text{ст}} = t_{1\text{cp}} + \frac{q}{\alpha_1} = 312,496 + \frac{2608}{556,861} = 307,813\text{K},$$

$$t_{2\text{ст}} = t_{2\text{cp}} - \frac{q}{\alpha_2} = 304,5 - \frac{2608}{2451} = 305,564\text{K}.$$

Критерій Прандля для метанолу при температурі стінки  $t_{1\text{ст}} = 307,813\text{K}$ :

$$Pr_{1\text{ст}} = \frac{c_{1\text{ст}} \cdot \mu_{1\text{ст}}}{\lambda_{1\text{ст}}} = \frac{2580,5 \cdot 0,4811 \cdot 10^{-3}}{0,199} = 6,239 ,$$

де  $\lambda_{1\text{ст}} = 0,199\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$  - коефіцієнт теплопровідності метанолу[13];

$\mu_{1\text{ст}} = 0,4811 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості метанолу[13];

$c_{1\text{ст}} = 2580,5 \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$  - питома теплоємність[13].

Перевіримо прийняте значення:

$$\left( \frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)^{0,25} = \left( \frac{5,936}{6,239} \right)^{0,25} = 0,988.$$

Було прийнято  $\left( \frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)^{0,25} = 0,9.$

$$\delta_1 = \frac{\left| \left( \frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)_{\text{розр}}^{0,25} - \left( \frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25} \right|}{\left( \frac{Pr_1}{Pr_{1\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25}} \cdot 100\% = \frac{|0,9 - 0,988|}{0,988} \cdot 100\% = 8,9\% \geq 5\%.$$

Різниця із прийнятим значенням складає 8,9% та не лежить у межах допустимої похибки, робимо уточнюючий перерахунок:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Критерій Нуссельта трубного простору при перерахунку  $Pr_{\text{лст}}$ :

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_l}{Pr_{\text{ст1}}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l = 0,021 \cdot 14300^{0,8} \cdot 5,936^{0,43} \cdot 0,988^{0,25} \cdot 1 = 94,11.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до метанолу:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_{\text{лст}}}{d_{\text{ле}}} = \frac{94,11 \cdot 0,199}{0,033} = 567,518 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Критерій Прандля для води при  $t_{2\text{ст}} = 305,564\text{К}$ ,

$$Pr_{2\text{ст}} = \frac{c_{2\text{ст}} \cdot \mu_{2\text{ст}}}{\lambda_{2\text{ст}}} = \frac{2286 \cdot 12,556 \cdot 10^{-6}}{0,039} = 0,736,$$

де  $\lambda_{2\text{ст}} = 0,617 \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  - коефіцієнт теплопровідності[13];

$\mu_{2\text{ст}} = 0,783 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості[13];

$c_{2\text{ст}} = 4174 \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  - питома теплоємність при.

Перевіримо прийняте значення:

$$\left( \frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)^{0,25} = \left( \frac{0,776}{0,736} \right)^{0,25} = 1,007.$$

Було прийнято  $\left( \frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)^{0,25} = 0,9$

$$\delta_2 = \frac{\left| \left( \frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)_{\text{розр}}^{0,25} - \left( \frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25} \right|}{\left( \frac{Pr_2}{Pr_{2\text{ст}}} \right)_{\text{прийн}}^{0,25}} \cdot 100\% = \frac{|0,9 - 1,007|}{1,007} \cdot 100\% = 10,6\% \geq 5\%.$$

Різниця із прийнятим значенням складає 10,6% та не лежить у межах допустимої похибки, робимо уточнюючий перерахунок:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Критерій Нуссельта для міжтрубного простору при перерахунку  $Pr_{2ст}$ :

$$Nu_2 = 0,4 \cdot \varepsilon_\phi \cdot Re_2^{0,6} \cdot Pr_2^{0,36} \cdot \left( \frac{Pr_2}{Pr_{ст2}} \right)^{0,25} = 0,4 \cdot 1 \cdot 7166^{0,6} \cdot 5,443^{0,36} \cdot 1,007^{0,25} = 152,441.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_2} = \frac{152,441 \cdot 0,617}{0,037} = 2542 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{ст} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{567,518} + \frac{1}{1159} + \frac{1}{2542}} = 331,354 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Розрахункова площа поверхні теплообміну:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{1097000}{331,354 \cdot 7,996} = 455,475 \text{ м}^2.$$

Приймаємо до установки 2 шестиходових кожухотрубних теплообмінників

Визначимо запас площі теплообмінника:

$$100\% \cdot \frac{(F \cdot 2 - F_p)}{F_p} = 100\% \cdot \frac{(252 \cdot 2 - 455,475)}{455,475} = 10,6\%.$$

Вибраний теплообмінник задовольняє умовам проектування.

Висновок: Для реалізації поставленої задачі охолодження метанолу із заданою продуктивністю приймаємо шестиходовий горизонтальний кожухотрубний теплообмінник, що має внутрішній діаметр кожуха  $D = 1400$  мм, еквівалентний діаметр труб  $37 \times 2$  мм, довжину труб  $L = 6$  м, загальною площею теплообміну  $252 \text{ м}^2$ , та загальну кількість трубок  $n = 360$ .

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

## 5.2 Розрахунок штуцерів

Розрахунок штуцерів:

Метою розрахунку є вибір стандартних штуцерів за тиском і діаметром умовного проходу. Розрахункова схема штуцера зображена на рисунку 5.2.

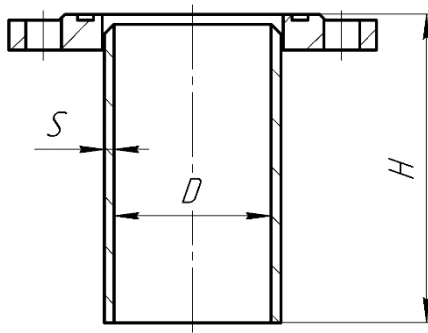


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема штуцера

Вихідні дані:

густина метанолу $\rho_1$ , кг/м <sup>3</sup> [13]	780;
густина води $\rho_2$ , кг/м <sup>3</sup> [13]	995,2;
масова витрата метанолу $G_1$ , кг/с	10;
масова витрата води $G_2$ , кг/с	5,592.

Методику розрахунку ведемо згідно [14].

Діаметр штуцера для входу і виходу метанолу:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_1 \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10}{3,14 \cdot 780 \cdot 1,5}} = 0,104 \text{ м},$$

де  $\omega$  - рекомендована швидкість для рідин,  $\omega=1,5$  м/с [15].

Тоді дійсна швидкість руху в штуцерах:

$$\omega_1 = \frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot d_1^2 \cdot \rho_1} = \frac{4 \cdot 10}{3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 780} = 1,632 \text{ м/с}.$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Діаметр штуцера для входу і виходу води:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \rho_2 \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,592}{3,14 \cdot 995,2 \cdot 1,5}} = 0,069 \text{ м.}$$

Дійсна швидкість руху в штуцерах:

$$\omega_2 = \frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot d_2^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot 10}{3,14 \cdot 0,08^2 \cdot 995,2} = 1,118 \text{ м/с.}$$

Розміри нормалізованих штуцерів за [7]:

- 1) 2 штуцери 100–0,6 – 1 – 5 – 150–12X18Н10Т–АТК 24.218.06-90 для входу і виходу метанолу, що має наступні параметри:

Номінальний діаметр $D_y$ , м	0,100;
Діаметр отвору $d_T$ , м	0,108;
Товщина стінки $S_T$ , м	0,006;
Висота штуцера $H_T$ , м	0,155.

- 2) 2 штуцери 80–0,6 – 1 – 5 – 150–12X18Н10Т–АТК 24.218.06-90 для входу і виходу води, що має наступні параметри:

Номінальний діаметр $D_y$ , м	0,080;
Діаметр отвору $d_T$ , м	0,089;
Товщина стінки $S_T$ , м	0,005;
Висота штуцера $H_T$ , м	0,155.

- 3) 2 штуцери 80–0,6 – 1 – 5 – 150–12X18Н10Т–АТК 24.218.06-90 для виходу залишку води та парів, що має наступні параметри:

Номінальний діаметр $D_y$ , м	0,025;
Діаметр отвору $d_T$ , м	0,032;
Товщина стінки $S_T$ , м	0,0035;
Висота штуцера $H_T$ , м	0,155.

Висновок: було розраховано та прийнято стандартні розміри штуцерів для входу і виходу метанолу, для входу та для виходу води, для виходу залишку води і парів, та дійсні швидкості руху в штуцерах.

### 5.3 Гідравлічний розрахунок

Метою гідравлічного розрахунку є визначення гідравлічного опору в трубному та міжтрубному просторах теплообмінника

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.3.

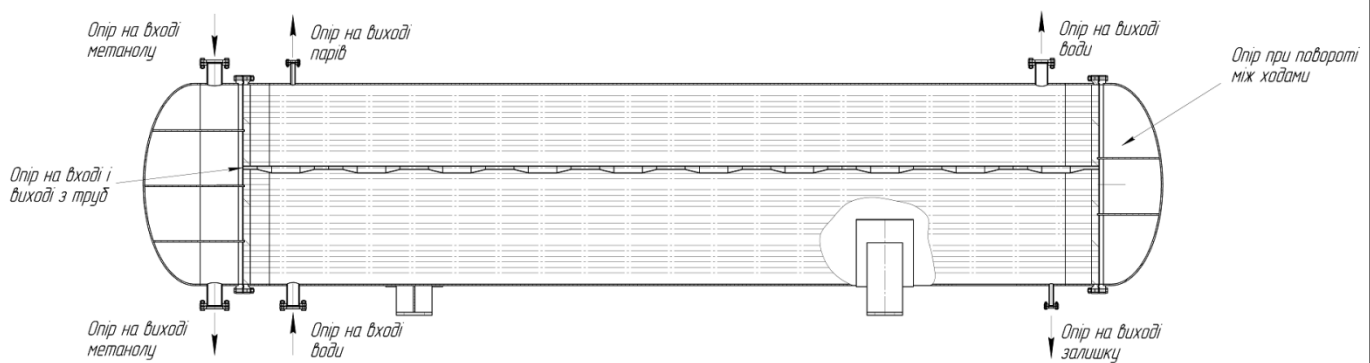


Рисунок 5.3 – Розрахункова схема гідравлічного опору теплообмінника

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр трубки  $d_{\text{вн}}$ , м 0,033;

довжина труб  $L$ , м 6.

Розрахунок здійснюємо за методикою [14].

Розрахунок гідравлічного опору в трубному просторі:

,

Відносна шорсткість труб:

$$e = \frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} = \frac{0,2}{33} = 0,006,$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

де  $\Delta$  - висота виступів шорсткостей,  $\Delta = 0,2$  мм.

При значенні  $Re > 2300$  коефіцієнт тертя визначається:

$$\lambda_1 = 0,25 \cdot \left( \lg \left( \frac{e}{3,7} + \left( \frac{6,81}{Re_1} \right)^{0,9} \right) \right)^{-2} = 0,25 \cdot \left( \lg \left( \frac{0,006}{3,7} + \left( \frac{6,81}{14300} \right)^{0,9} \right) \right)^{-2} = 0,038.$$

Гідравлічний опір трубного простору:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{тр}} &= j \cdot \left[ \lambda_1 \cdot \frac{L \cdot z}{d_1} + 2 \cdot z \cdot \varepsilon_3 + (z-1) \cdot \varepsilon_1 \right] \cdot \frac{\rho_{\text{тр}} \cdot \omega_{\text{тр}}^2}{2} + 2 \cdot \varepsilon_2 \cdot \frac{\rho_{\text{тр}} \cdot \omega_{\text{шт}}^2}{2} = \\ &= 1,05 \cdot \left[ 0,038 \cdot \frac{6 \cdot 6}{0,033} + 2 \cdot 6 \cdot 1 + (6-1) \cdot 2,5 \right] \cdot \frac{780 \cdot 0,25^2}{2} + 2 \cdot 1,5 \cdot \frac{780 \cdot 1,632^2}{2} = \\ &= 4717 \text{ Па.} \end{aligned}$$

де  $j$  – коефіцієнт, який враховує підвищення гідравлічного опору при зміні конструкції труб на запропоновану,  $j = 1,05$ ;

$z$  – кількість ходів по трубах;

$\varepsilon_1$  - місцеві втрати при повороті між ходами,  $\varepsilon_1 = 2,5$  [14];

$\varepsilon_2$  - вхідна і вихідна камера,  $\varepsilon_2 = 1,5$  [14];

$\varepsilon_3$  - вхід і вихід з трубного простору,  $\varepsilon_3 = 1,0$  [14].

Витрати потужності:

$$N_1 = \frac{\Delta P_{\text{тр}} \cdot G_1}{\rho_1} = \frac{4717 \cdot 10}{780} = 60,472 \text{ Вт.}$$

Кількість рядів труб:

$$m = \sqrt{\frac{n_p}{2}} = \sqrt{\frac{28}{2}} = 3,742 \approx 4,$$

де  $n_p$  – кількість труб по горизонталі,

Гідравлічний опір міжтрубного простору:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$\Delta P_{\text{міжтр}} = j \cdot \left[ \frac{3m(x+1)}{Re_2^{0.2}} \cdot (x+1) + x \cdot \varepsilon_4 \right] \cdot \frac{\rho_{\text{мтр}} \cdot \omega_{\text{мтр}}^2}{2} + (\varepsilon_5 + \varepsilon_6) \cdot \frac{\rho_{\text{мтр}} \cdot \omega_{2\text{шт}}^2}{2} =$$

$$= 1,05 \cdot \left[ \frac{3 \cdot 4 \cdot (0+1)}{7166^{0.2}} \right] \cdot \frac{995,2 \cdot 0,156^2}{2} + (1,5 + 1) \cdot \frac{995,2 \cdot 1,118^2}{2} = 1579 \text{ Па},$$

де  $x$  – кількість перегородок ;

$\varepsilon_4$  - місцеві втрати при повороті через перегородку,  $\varepsilon_4 = 1,5$  [14];

$\varepsilon_5$  - місцеві втрати на вхід в міжтрубний простір,  $\varepsilon_5 = 1,5$  [14];

$\varepsilon_6$  - місцеві втрати на вихід з міжтрубного простору,  $\varepsilon_6 = 1,0$  [14].

Витрати потужності:

$$N_2 = \frac{\Delta P_{\text{міжтр}} \cdot G_2}{\rho_2} = \frac{1579 \cdot 5,592}{995,2} = 8,874 \text{ Вт}.$$

Висновок: визначено гідравлічний опір трубного й міжтрубного просторів теплообмінника  $\Delta P_{\text{тр}} = 4717 \text{ Па}$  і  $\Delta P_{\text{міжтр}} = 1579 \text{ Па}$ . Витрати потужності дорівнюють: для трубного простоту 60,472 Вт, а для міжтрубного 8,874 Вт.

#### 5.4 Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки

Метою даного розрахунку є визначення товщини стінки циліндричної обичайки і перевірка її на міцність.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.4.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



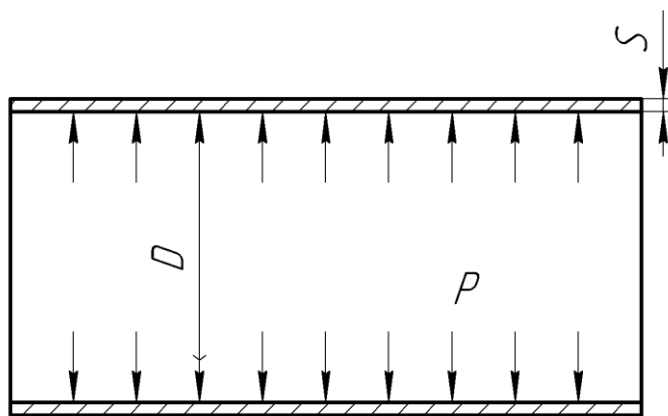


Рисунок 5.4 – Схема товщини стінки обичайки

Вхідні дані:

тиск всередині апарата $P$ , МПа	0,1;
внутрішній діаметр апарата $D$ , м	1,4;
допустиме напруження для матеріалу обичайки (сталь 12X18Н10Т) $[\sigma]$ , МПа	155.

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [15].

Розрахунок передбачає визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію і зручності транспортування та монтажу.

Номінальна товщина стінки циліндричної обичайки :

$$S_R = \frac{D \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_{\text{ш}} - P} = \frac{1,4 \cdot 0,1}{2 \cdot 155 \cdot 0,9 - 0,1} = 0,5 \text{ мм},$$

де  $\phi_{\text{ш}}$  - коефіцієнт міцності зварних швів,  $\phi_{\text{ш}} = 0,9$  [16].

Виконавча товщина стінки обичайки:

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 9 + 0,5 + 0,5 + 0 = 10 \text{ мм},$$

де  $C_1$  – прибавка на компенсацію корозії та ерозії .

$$C_1 = v \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мм},$$

де  $v$  - швидкість корозії,  $v = 0,05$  мм/рік;

$\tau$  - строк служби,  $\tau = 10$  років;

$C_2$  – прибавка на компенсацію мінусового допуску до товщини листа,  $C_2 = 0,5$  мм;

$C_3$  – технологічна прибавка, яка дорівнює,  $C_3 = 0$  мм.

Приймаємо  $S_R = 9$  мм, рекомендовану за [2] з метою забезпечення міцності обичайки.

Допустимий тиск в обичайці:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_{ш} \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 155 \cdot 0,9 \cdot (10 - 1) \cdot 10^{-3}}{1,4 + (10 - 1) \cdot 10^{-3}} = 1,782 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності:

$$P \leq [P],$$

$$0,1 \text{ МПа} \leq 1,782 \text{ МПа}.$$

Висновок: Через те, що умови застосування формул виконуються, а допустимий внутрішній надлишковий тиск більший за розрахунковий, то приймаємо товщину стінки  $S = 10$  мм.

### **5.5 Розрахунок еліптичного днища під дією внутрішнього надлишкового тиску**

Метою даного розрахунку є визначення товщини кришки та перевірка виконання умов міцності.

Схема до розрахунку еліптичної кришки приведена на рисунку 5.5.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

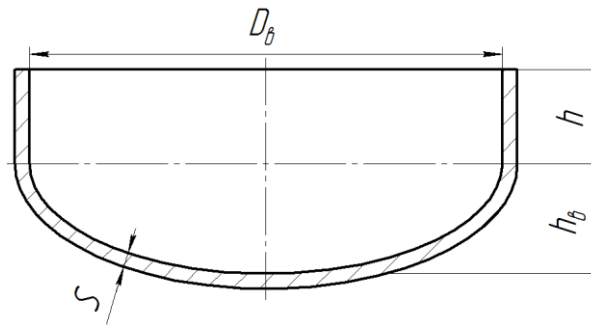


Рисунок 5.5 - Схема до розрахунку еліптичної кришки

Вхідні дані:

тиск всередині апарата $P$ , МПа	0,1;
внутрішній діаметр апарата $D_{в}$ , м	1,4;
допустиме напруження для матеріалу обичайки (сталь 12X18H10T ) $[\sigma]$ , МПа	155.

Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [15].

В даному розрахунку необхідно визначити товщину днища та перевірити, чи виконується умова міцності.

Розрахункова товщина за внутрішнього надлишкового тиску:

$$S_R = \frac{D \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_{ш} - P} = \frac{1,4 \cdot 0,1}{2 \cdot 155 \cdot 0,9 - 0,1} = 0,5 \text{ мм},$$

де  $\phi_{ш}$  - коефіцієнт міцності зварних швів,  $\phi_{ш} = 0,9$  [16].

Із врахуванням поправок маємо:

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 9 + 0,5 + 0,5 + 0 = 10 \text{ мм}.$$

Товщину днища необхідно приймати не менше товщини корпуса і згідно рекомендаціям стандартів не менше 10 мм. Приймаємо 10мм. Обчислюємо висоту еліптичної частини днища та радіус:

$$H = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 1,4 = 0,35 \text{ м},$$

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{1,4^2}{4 \cdot 0,35} = 1,4 \text{ м.}$$

В зв'язку з тим, що ми обрали еліптичне днище, його обов'язково необхідно виконувати з відбортковою. Усі параметри днища вибираються згідно стандартів.

Виконуємо перевірку на допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot (S - C) \cdot [\sigma] \cdot \phi}{R + 0,5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot (0,01 - 0,001) \cdot 155 \cdot 0,9}{1,4 + 0,5 \cdot (0,01 - 0,001)} = 1,782 \text{ МПа,}$$

$$P = 0,1 \text{ МПа} \leq [P] = 1,782 \text{ МПа.}$$

Висновок: Значення робочого тиску  $P = 0,1 \text{ МПа}$  не перевищує значення допустимого тиску  $[P] = 1,782 \text{ МПа}$ . Умова міцності виконується, отже розрахована виконавча товщина стінки еліптичного днища  $S = 10 \text{ мм}$ . Розрахунок проведений в середовищі MathCad (Додаток Б).

## 5.6 Розрахунок фланцевих з'єднань

Метою розрахунку є вибір та перевірочний розрахунок фланців для забезпечення з'єднання корпусу апарата з розподільною камерою, а також герметичність з'єднання.

Схема фланцевого з'єднання наведена на рисунок 5.6.

Розрахунок проводимо згідно методики наведеної в [17], складена згідно норм за ОСТ 26-373-78 і передбачає визначення навантажень на кріпильні деталі, обчислення напружень у кріпильних деталях і порівняння їх з допустимими, знаходження напруження в найбільш небезпечних перерізах фланців та порівняння їх з допустимими та перевірку фланців на жорсткість за умовою герметичності.

Вибір стандартних фланців здійснюємо згідно із [17].

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Попередній геометричний розрахунок:

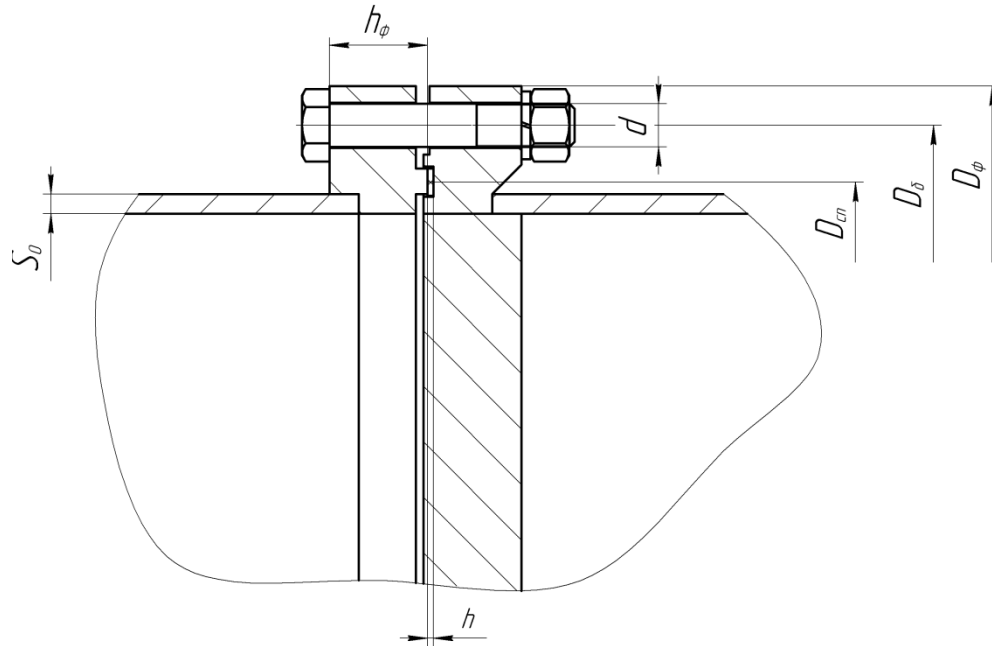


Рисунок 5.6 – Схема фланцевого з'єднання

Вихідні дані:

Геометричні параметри фланця:

внутрішній діаметр, $D$ , м	1,4;
діаметр фланця, $D_{\phi}$ , м	1,530;
діаметр болтового кола, $D_{\text{Б}}$ , м	1,490;
товщина фланця, $h_{\phi 1}$ , м	0,044;
товщина фланця, $h_{\phi 2}$ , м	0,044;
параметри прокладки	
зовнішній діаметр прокладки, $D_{\text{п}}$ , м	1.446;
ширина прокладки, $b$ , м	0,014;
товщина прокладки, $h$ , м	0,003;

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

матеріал прокладки	Пароніт ГОСТ 28759-90;
допустиме питоме навантаження, $q$ , МПа	130;
коефіцієнт, $m$	2,5;
модуль пружності матеріалу прокладки, $E_{\text{пр}}^t$ , МПа	200;
матеріал фланців	12X18H10T;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{ф}}^{20}$ , МПа	160;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{ф}}^{60}$ , МПа	155;
модуль пружності, $E_{\text{ф}}^t$ , МПа	$2 \cdot 10^5$ ;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, $\alpha_{\text{ф}}^t$ , $\text{K}^{-1}$	$16,6 \cdot 10^{-6}$ ;
внутрішній тиск, $P_{\text{тр}}$ , МПа	0,1;
кількість болтів, $z_{\text{Б}}$	52;
діаметр різьби шпильок, $d_{\text{Б}}$ , м	0,02037;
внутрішній діаметр, $d_{0\text{Б}}$ , м	0,022;
матеріал болтів	сталь 35X ГОСТ 28759-90;
мінімальне питоме навантаження, $q_{\text{Б}}$ , МПа	20;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{Б}}^{20}$ , МПа	230;
допустиме напруження, $[\sigma]_{\text{Б}}^{60}$ , МПа	227;
модуль пружності, $E_{\text{Б}}^t$ , МПа	$2 \cdot 10^5$ ;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, $\alpha_{\text{Б}}^t$ , $\text{K}^{-1}$	$16,6 \cdot 10^{-6}$ .

Для перевірного розрахунку фланцевих з'єднань скористаємось алгоритмом запропонованим авторами [17], згідно з яким проводяться розрахунок наступних величин:

Розрахунок допоміжних величин:

Відношення більшої товщини втулки до меншої:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$\beta = \frac{S_1}{S_0} = \frac{0,012}{0,012} = 1.$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - b = 1,446 - 0,014 = 1,432 \text{ м},$$

де  $D_{\text{п}}$  - зовнішній діаметр прокладки, м;

$b$  - ширина прокладки, м.

Оскільки  $b \leq 0,015 \text{ м}$ , то ефективна ширина прокладки:

$$b_{\text{е}} = 0,5 \cdot b = 0,5 \cdot 0,014 = 0,007 \text{ м}.$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K_{\phi} = \frac{D_{\phi}}{D} = \frac{1,53}{1,4} = 1,093,$$

де  $D_{\phi}$  - зовнішній діаметр фланця;

$D$  - умовний внутрішній діаметр фланця.

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_o}} = \frac{0,044}{\sqrt{1,4 \cdot 0,01}} = 0,372,$$

$$\lambda_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_o}} = \frac{0,044}{\sqrt{1,4 \cdot 0,01}} = 0,372,$$

де  $h_{\phi 1}$ ,  $h_{\phi 2}$  - товщини фланців, м;

$S_o$  – товщина стінки апарата,  $S_o = 0,01 \text{ м}$ .

Поправкові коефіцієнти для фланців:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg K_{\phi} = 1,28 \cdot \lg 1,093 = 0,049,$$

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} = \frac{1,093 + 1}{1,093 - 1} = 22,538.$$

Геометричні параметри фланців:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$j_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{S_0} = \frac{0,044}{0,01} = 4,4,$$

$$j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{S_0} = \frac{0,044}{0,01} = 4,4.$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \frac{1,093^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,093) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,093^2)(1,093 - 1)} = 1,878,$$

$$\omega_{\phi 1} = \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2)\right)^{-1} = (1 + 0,9 \cdot 0,372 \cdot (1 + 0,049 \cdot 4,4^2))^{-1} = 0,604,$$

$$\omega_{\phi 2} = \left(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2)\right)^{-1} = (1 + 0,9 \cdot 0,372 \cdot (1 + 0,049 \cdot 4,4^2))^{-1} = 0,604.$$

Кутова піддатливість фланців:

$$y_{\phi 1} = \frac{(1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}} = \frac{(1 - 0,604 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,372)) \cdot 22,538}{0,044^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,256 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}},$$

$$y_{\phi 2} = \frac{(1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})) \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}} = \frac{(1 - 0,604 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,372)) \cdot 22,538}{0,044^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,256 \frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}},$$

де  $E_{\phi 1}$  і  $E_{\phi 2}$  - модуль поздовжньої пружності матеріалу фланців, Па.

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання :

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_B = 0,044 + 0,044 + 0,003 + 0,28 \cdot 0,022 = 0,097 \text{ м},$$

де  $h$  - товщина прокладки, м;

$d_B$  - зовнішній діаметр різьби болтів, м.

Лінійна піддатливість прокладки:

$$y_{\pi} = \frac{h}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b \cdot E_{\pi}} = \frac{0,003}{3,14 \cdot 1,432 \cdot 0,014 \cdot 2000} = 2,382 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{МН}},$$

де  $E_{\pi}$  - модуль повздовжньої пружності матеріалу прокладки, Па.

Площа поперечного перерізу болта:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



$$f_{\text{Б}} = 0,785 \cdot d_0^2 = 0,785 \cdot 0,02037^2 = 3,257 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

де  $d_0$  – внутрішній діаметр різьби болтів, м.

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_{\text{Б}} = \frac{L_{\text{Б}}}{E_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot z_{\text{Б}}} = \frac{0,097}{2 \cdot 10^5 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4} \cdot 52} = 2,868 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}}{\text{МН}},$$

де  $E_{\text{Б}}$  - модуль поздовжньої пружності матеріалу болтів, Па.

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\text{Ф}} = \left( y_{\text{п}} + y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot (y_{\text{Ф1}} + y_{\text{Ф2}}) \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}})^2 \right)^{-1} =$$

$$= (2,382 \cdot 10^{-5} + 2,868 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,256 + 0,256) \cdot (1,49 - 1,432)^2)^{-1} = 2072 \frac{\text{МН}}{\text{М}}.$$

Параметр жорсткості фланців :

$$B_{\text{Ф1}} = y_{\text{Ф1}} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_0) = 0,256 \cdot (1,49 - 1,4 - 0,01) = 0,02 \frac{1}{\text{МН}},$$

$$B_{\text{Ф2}} = y_{\text{Ф2}} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_0) = 0,256 \cdot (1,49 - 1,4 - 0,01) = 0,02 \frac{1}{\text{МН}}.$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\text{Ф}} \cdot y_{\text{Б}} = 2072 \cdot 2,868 \cdot 10^{-5} = 0,059.$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\text{Ф}} = A_{\text{Ф}} \cdot \left( y_{\text{Б}} + 0,25 (B_{\text{Ф1}} + B_{\text{Ф2}}) (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}}) \right) =$$

$$= 2072 \cdot (2,868 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,02 + 0,02) \cdot (1,49 - 1,432)) = 1,289.$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_{\text{г}} = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P = 0,785 \cdot 1,432^2 \cdot 0,1 = 0,155 \text{ МН},$$

де  $P$  - внутрішній надлишковий тиск в апараті.

Реакція прокладки в робочих умовах:

$$R_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot m \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,432 \cdot 0,007 \cdot 2,5 \cdot 0,1 = 0,016 \text{ МН}.$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

$$Q_{t\phi} = \gamma \cdot z_B \cdot f_B \cdot E_B (\alpha_{\phi}^t \cdot t_{\phi} - \alpha_B^t \cdot t_B) =$$

$$= 0,059 \cdot 52 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 57,6 - 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 48,6) = 0,003 \text{ Н},$$

де  $\alpha_{\phi}^t$  і  $\alpha_B^t$  - коефіцієнти відносного лінійного розширення відповідно матеріалу фланця і болтів, 1/К;

$t_{\phi}$  і  $t_B$  - температури відповідно фланця і болтів, К.

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку:

$$P'_{Б1} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 1,432 \cdot 0,007 \cdot 20 = 0,63 \text{ МН},$$

$$P''_{Б1} = \alpha_{\phi} \cdot (Q_g + P) + R_{\pi} = 1,289 \cdot (0,155 + 0,1) + 0,016 = 0,345 \text{ МН},$$

$$P'''_{Б1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 230 \cdot 52 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4} = 1,05 \text{ МН},$$

де  $q$  - мінімальний тиск на прокладку, який забезпечує герметичність з'єднання,  $q = 20 \text{ МПа}$ ;

$[\sigma_B]^{20}$  - границя міцності матеріалу болтів при температурі  $20^\circ\text{C}$ ;

$[\sigma_B]^{20} = 230 \text{ МПа}$ .

Розрахункове навантаження на болти:

Оскільки  $P < 0,6 \text{ МПа}$ , то:

$$P_{Б1} = \max(P'_{Б1}; P''_{Б1}; P'''_{Б1}) = \max(0,63; 0,345; 1,05) = 1,05 \text{ МН}.$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b} \leq [q],$$

$$\frac{1,05}{3,14 \cdot 1,432 \cdot 0,014} = 16,673 \leq 130,$$

де  $[q]$  - допустиме питоме навантаження зминання прокладки,  $[q] = 130 \text{ МПа}$ .

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$P_{Б2} = P_{Б1} + (1 - \alpha_{\Phi}) \cdot (Q_g + P) + Q_{t\Phi} =$$

$$= 1,05 + (1 - 1,289) \cdot (0,155 + 0,1) + 0,03 = 1,006 \text{ МН.}$$

Розрахункове навантаження на болти :

$$P_{Б\Phi} = \max(P_{Б1}; P_{Б2}) = \max(1,05; 1,006) = 1,05 \text{ МН.}$$

Напруження розтягання в болтах за умов монтажу :

$$\sigma_{Б}^{20} = \frac{P_{Б1}}{z_{Б} \cdot f_{Б}} = \frac{1,05}{52 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4}} = 62 \text{ МПа.}$$

Напруження розтягання в болтах за робочих умов :

$$\sigma_{Б}^t = \frac{P_{Б2}}{z_{Б} \cdot f_{Б}} = \frac{1,006}{52 \cdot 3,257 \cdot 10^{-4}} = 59,422 \text{ МПа.}$$

Крутний момент, що виникає від розтягування гайок :

$$M_{скр} = f_1 \cdot \frac{P_{Б\Phi}}{z_{Б}} \cdot d_{Б} = 0,1 \cdot \frac{1,05}{52} \cdot 0,022 = 4,442 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м},$$

де  $f_1$  - коефіцієнт тертя,  $f_1 = 0,1$ .

Дотичне напруження в болтах :

$$\tau_{Б} = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_0^3} = \frac{4,442 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,02037^3} = 26,279 \text{ МПа.}$$

Еквівалентні напруження в болтах :

$$\sigma_{БЕ}^{20} = \sqrt{(\sigma_{Б}^{20})^2 + 3 \cdot \tau_{Б}^2} = \sqrt{62^2 + 3 \cdot 26,279^2} = 76,914 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{БЕ}^t = \sqrt{(\sigma_{Б}^t)^2 + 3 \cdot \tau_{Б}^2} = \sqrt{59,422^2 + 3 \cdot 26,279^2} = 74,851 \text{ МПа.}$$

Умови міцності болтів :

$$\sigma_{БЕ}^{20} \leq [\sigma_{Б}]^{20},$$

$$76,914 \text{ МПа} \leq 230 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{БЕ}^t \leq [\sigma_{Б}]^t,$$

$$74,851 \text{ МПа} \leq 227 \text{ МПа.}$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу :

$$M_{01\Phi} = 0,5 \cdot P_{Б1} \cdot (D_{Б} - D_{сп}) = 0,5 \cdot 1,05 \cdot (1,49 - 1,432) = 0,03 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за робочих умов :

$$M_{02\Phi} = 0,5 \cdot (P_{Б2} (D_{Б} - D_{сп}) + Q_g (D_{сп} - D - S_0)) \frac{[\sigma_{\Phi}]^{20}}{[\sigma_{\Phi}]^t} =$$

$$= 0,5 \cdot (1,006 \cdot (1,49 - 1,432) + 0,155 \cdot (1,432 - 1,4 - 0,01)) \frac{160}{155} = 0,032 \text{ МН} \cdot \text{м},$$

$$\text{де } \frac{[\sigma_{\Phi}]^{20}}{[\sigma_{\Phi}]^t} = \max \left( \frac{[\sigma_{\Phi1}]^{20}}{[\sigma_{\Phi1}]^t}; \frac{[\sigma_{\Phi2}]^{20}}{[\sigma_{\Phi2}]^t} \right) = \max \left( \frac{160}{155}; \frac{160}{155} \right) = \frac{160}{155},$$

де  $[\sigma_{\Phi1}]^{20}$  і  $[\sigma_{\Phi2}]^{20}$  - допустимі напруження матеріалу фланців при температурі 293°K, МПа;

$[\sigma_{\Phi1}]^t$ ,  $[\sigma_{\Phi2}]^t$  - допустимі напруження матеріалу фланців при робочій температурі, МПа.

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця :

$$M_{0\Phi} = \max(M_{01}; M_{02}) = \max(0,03; 0,032) = 0,032 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Максимальні напруження в перерізі  $S_0$  фланців від дії згинаючого моменту  $M_{0\Phi}$  :

$$\sigma_{o\Phi1} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\Phi} \cdot M_{o\Phi} \cdot \omega_{\Phi1}}{D \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,878 \cdot 0,032 \cdot 0,604}{1,4 \cdot (0,01 - 0,001)^2} = 319,205 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{o\Phi2} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\Phi} \cdot M_{o\Phi} \cdot \omega_{\Phi2}}{D \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,878 \cdot 0,032 \cdot 0,604}{1,4 \cdot (0,01 - 0,001)^2} = 319,205 \text{ МПа},$$

де  $\psi_3$  - коефіцієнт поправки для перерізу  $S_0$ ,  $\psi_3 = 1$ .

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту  $M_{o\Phi}$  :

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$$\sigma_{\kappa\Phi 1} = \frac{M_{o\Phi} \cdot (1 - \omega_{\Phi 1} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 1})) \cdot \psi_{2\Phi}}{D \cdot h_{\Phi 1}^2} = \frac{0,032 \cdot (1 - 0,604 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,372)) \cdot 22,538}{1,4 \cdot 0,044^2} = 51,269 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{\kappa\Phi 2} = \frac{M_{o\Phi} \cdot (1 - \omega_{\Phi 2} (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\Phi 2})) \cdot \psi_{2\Phi}}{D \cdot h_{\Phi 2}^2} = \frac{0,032 \cdot (1 - 0,604 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,372)) \cdot 22,538}{1,4 \cdot 0,044^2} = 51,269 \text{ МПа}.$$

Кільцеве та меридіональне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішнього тиску  $P$ :

$$\sigma_{x\Phi 1} = \sigma_{x\Phi 2} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,1 \cdot 1,4}{2 \cdot (0,01 - 0,001)} = 7,778 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{y\Phi 1} = \sigma_{y\Phi 2} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (S_o - C)} = \frac{0,1 \cdot 1,4}{4 \cdot (0,01 - 0,001)} = 3,889 \text{ МПа}.$$

Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців:

$$\begin{aligned} \sigma_{E\Phi 1} &= \sqrt{(\sigma_{o\Phi 1} + \sigma_{y\Phi 1})^2 + \sigma_{x\Phi 1}^2 - (\sigma_{o\Phi 1} + \sigma_{y\Phi 1}) \cdot \sigma_{x\Phi 1}} = \\ &= \sqrt{(319,205 + 3,889)^2 + 7,778^2 - (319,205 + 3,889) \cdot 7,778} = 319,276 \text{ МПа}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{E\Phi 2} &= \sqrt{(\sigma_{o\Phi 2} + \sigma_{y\Phi 2})^2 + \sigma_{x\Phi 2}^2 - (\sigma_{o\Phi 2} + \sigma_{y\Phi 2}) \cdot \sigma_{x\Phi 2}} = \\ &= \sqrt{(319,205 + 3,889)^2 + 7,778^2 - (319,205 + 3,889) \cdot 7,778} = 319,276 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Умови міцності:

$$\sigma_{E\Phi 1} \leq [\sigma_{\Phi 1}^{S_o}] \cdot \varphi,$$

$$319,276 \leq (600 \cdot 0,9 = 540),$$

$$\sigma_{E\Phi 2} \leq [\sigma_{\Phi 2}^{S_o}] \cdot \varphi,$$

$$319,276 \leq (600 \cdot 0,9 = 540),$$

де  $[\sigma_{\Phi 1}^{S_o}]$ ,  $[\sigma_{\Phi 2}^{S_o}]$  - допустимі напруження матеріалу фланця у перерізі  $S_o$ ;

$$[\sigma_{\Phi 1}^{S_o}] = [\sigma_{\Phi 2}^{S_o}] = 0,003 \cdot E_{\Phi}^t = 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 = 600 \text{ МПа};$$

$\varphi$  - коефіцієнт міцності зварних швів,  $\varphi = 0,9$ .

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умови міцності виконуються.

Умови герметичності:

При  $D \leq 2 \text{ м}$   $[\theta] = 0,009 \text{ рад}$

$$\frac{\sigma_{\text{кф1}} \cdot D}{h_{\text{ф1}} \cdot E_{\text{ф1}}} \leq [\theta];.$$

$$\frac{51,269 \cdot 1,4}{0,044 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,0081 \leq 0,009;$$

$$\frac{\sigma_{\text{кф2}} \cdot D}{h_{\text{ф2}} \cdot E_{\text{ф2}}} \leq [\theta];.$$

$$\frac{51,269 \cdot 1,4}{0,044 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,0081 \leq 0,009.$$

Умови герметичності виконуються.

Висновок: Приймаємо стандартні плоскі приварні у стик фланці з такими параметрами:

внутрішній діаметр $D$ , м	1400;
діаметр фланця, $D_{\text{ф}}$ , м	1,530;
діаметр болтового кола, $D_{\text{б}}$ , м	1,490;
товщина фланця, $h_{\text{ф}}$ , м	0,044;
матеріал фланця	12X18H10T.

## 5.7 Розрахунок опор

Мета розрахунку: вибрати сідлову опору для апарату; перевірити на міцність та стійкість обичайку від дії реакцій сідлових опор.

Схема спирання посудини на сідлові опори та основна розрахункова

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

схема зображені на рисунках 5.7 та 5.8.

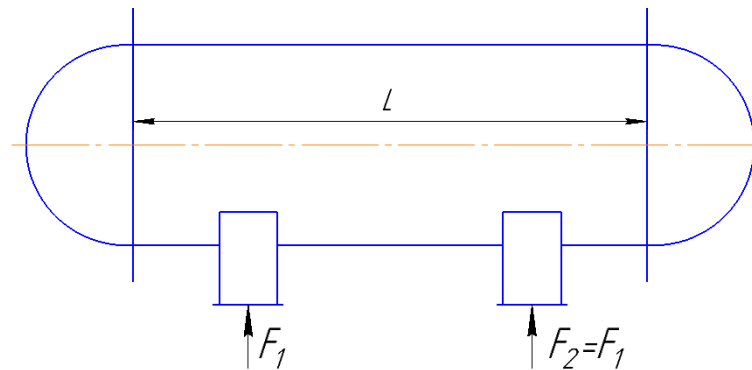


Рисунок 5.7 – Схема спирання посудини на сідлові опори

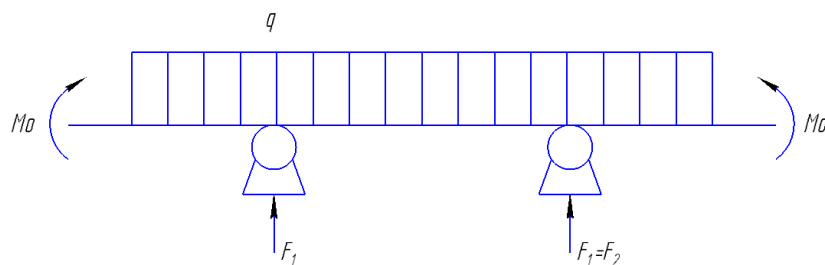


Рисунок 5.8 – Основна розрахункова схема для визначення опорних зусиль

Для встановлення горизонтальних апаратів на робочому місці застосовують сідлові опори. Даний теплообмінник необхідно встановлювати на сідлових опорах типу 2 виконання 2 [18].

Ескіз сідлової опори зображений на рисунку 5.9

Розрахунок проводимо згідно методики наведеної в [18], яка передбачає перевірку міцності та стійкості корпусу апарата від дії опорних навантажень, і, якщо необхідно, визначення товщини та ширини підкладного листа.

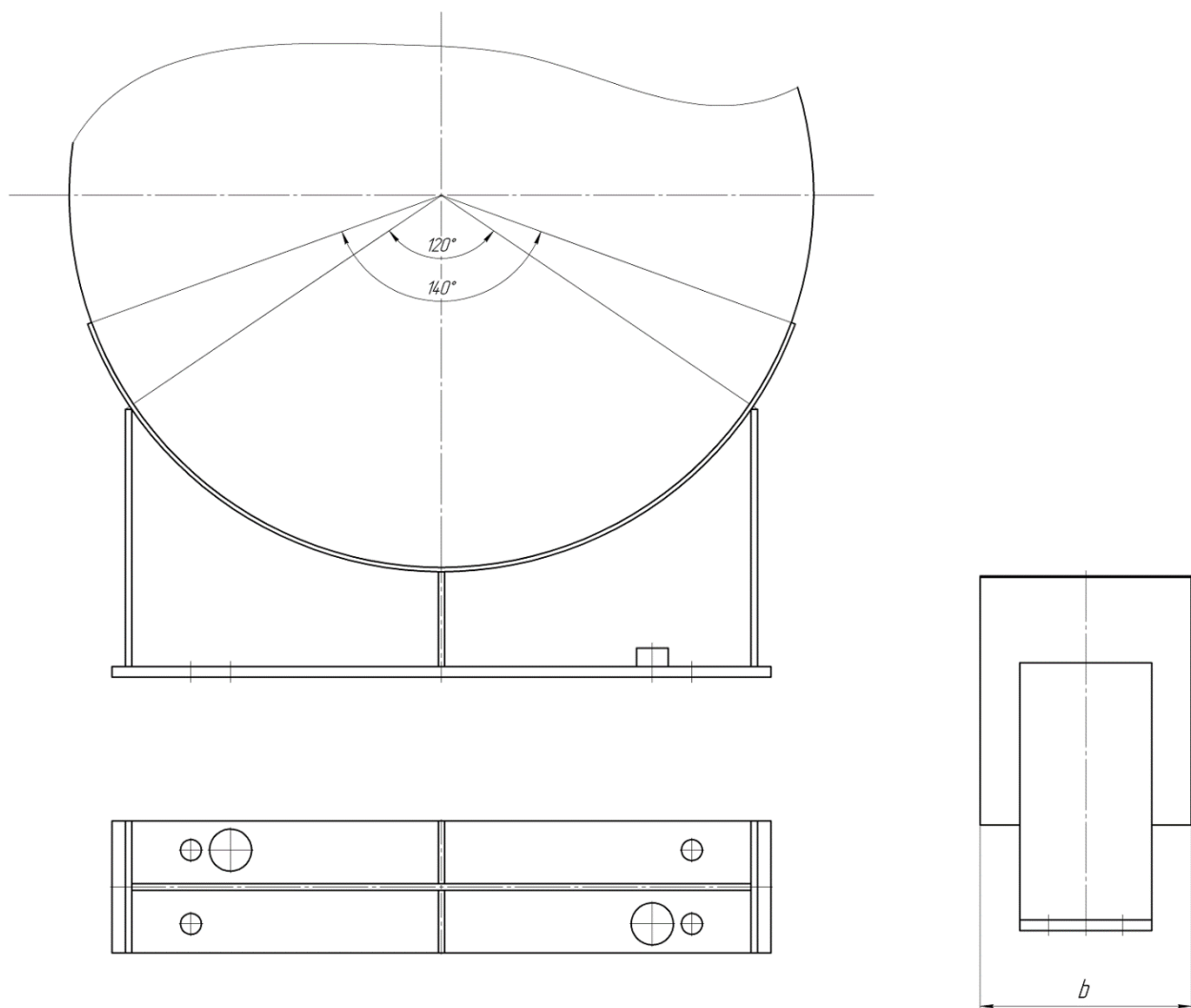


Рисунок 5.9– Ескіз сідлової опори

Вихідні дані:

вага апарата $G$ , МН	0,26;
кількість опор $n$	2;
внутрішній надлишковий тиск $P$ , МПа	0,1;
внутрішній діаметр обичайки $D$ , м	1,4;
товщина обичайки $S$ , м	0,01;
додаток до розрахункової товщини $C$ , м	0,001;

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64



довжина циліндричної частини корпусу $L$ , м	6;
відстань між опорами $l_1$ , м	4,4;
відстань від опори до краю циліндричної частини корпусу $a_1$ , м	1,1;
кут охоплення обичайки опорним листом $\delta$	140°;
ширина листа $b$ , м	0,25;
матеріал корпусу	12X18H10T;
допустиме напруження при розрахунковій температурі $[\sigma]^t$ , МПа	196;
модуль пружності при розрахунковій температурі $E^t$ , МПа	$2 \cdot 10^5$

Навантаження на горизонтальні опори:

Розподілене навантаження за довжиною апарата:

$$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3}H} = \frac{0,26}{6 + \frac{4}{3} \cdot 0,35} = 0,041 \text{ МН/м},$$

де  $H=0,35$  м – висота опуклої частини еліптичного днища[15].

Зосереджений момент:

$$M_0 = \frac{qD^2}{4} = \frac{0,041 \cdot 1,4^2}{4} = 0,02 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Відношення:

$$M_0 = \frac{a_1}{l_1} = \frac{1,5}{3,3} = 0,34.$$

Довжина вільно виступаючої частини еквівалентної посудини:

$$e = a_1 + \frac{2}{3} \cdot H = 1,5 + \frac{2}{3} \cdot 0,35 = 1,73 \text{ м}.$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Опорне зусилля:

$$F_1 = \frac{\psi_1 \cdot G}{n} = \frac{1 \cdot 0,26}{2} = 0,132 \text{ МН},$$

де  $\psi_1$  – коефіцієнт,  $\psi_1 = 1$  [19].

Вигинаючий момент над  $i$ -тою опорою:

$$M_1 = M_2 = \frac{qe^2}{2} - M_0 = \frac{0,041 \cdot 1,733^2}{2} - 0,02 = 0,041 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Максимальний вигинаючий момент між опорами:

$$\begin{aligned} M_i = M_{12} &= M_0 + F_1 \left( \frac{L}{2} - a_1 \right) - \frac{q}{2} \left( \frac{L}{2} + \frac{4}{3} H \right)^2 = \\ &= 0,02 + 0,132 \cdot \left( \frac{6}{2} - 1,5 \right) - \frac{0,041}{2} \left( \frac{6}{2} + \frac{4}{3} \cdot 0,35 \right)^{0,25} = -0,027 \text{ МН} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Поперечне зусилля в перерізі над  $i$ -тою опорою:

$$Q_i = \frac{L - 2a_1}{4} F_i = \frac{6 - 2 \cdot 1,5}{4} \cdot 0,132 = 0,09 \text{ МН}.$$

Перевірка несучої спроможності обичайки, яка в області опорного вузла не підкріплена підкладним листом та кільцем жорсткості.

Умови застосування розрахункових формул і коефіцієнт міцності зварного шва:

$$60^\circ \leq \delta_1 = 140^\circ \leq 180^\circ,$$

$$\sqrt{D(S - C)} = \sqrt{1,4 \cdot (0,01 - 0,001)} = 0,112 < f = 0,14.$$

Умови виконується, отже  $\varphi = 1$ .

Параметри системи:

Параметр, що визначається відстанню від вертикальної осі симетрії сідлової опори до днища:

$$\gamma = 2,83 \frac{a_1}{D} \sqrt{\frac{S - C}{D}} = 2,83 \cdot \frac{1,5}{1,4} \sqrt{\frac{0,01 - 0,001}{1,4}} = 0,243.$$

Параметр, що визначається шириною сідлової опори:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$\beta = 0,91 \frac{b}{\sqrt{D(S-C)}} = 0,91 \frac{0,4}{\sqrt{1,4 \cdot (0,01 - 0,001)}} = 3,243.$$

Загальне осьове мембранне напруження, що діє в області приєднання опорного вузла:

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{4M_i}{\pi \cdot D^2(S-C)} = \frac{4 \cdot 0,041}{3,14 \cdot 1,4^2 \cdot (0,01 - 0,001)} = 2,982 \text{ МПа.}$$

Допустимий вигинаючий момент за умовою міцності циліндричної обичайки:

$$\begin{aligned} [M]_{\text{М}} &= \frac{\pi}{4} D(D+S-C)(S-C)[\sigma] = \\ &= \frac{3,14}{4} \cdot 1,4 \cdot (1,4 + 0,01 - 0,001) \cdot (0,01 - 0,001) \cdot 155 = 2,161 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Допустимий вигинаючий момент за умовою стійкості в границях пружності:

$$\begin{aligned} [M]_{\text{Е}} &= \frac{89 \cdot 10^{-6} E}{n_c} D^3 \left[ \frac{100(S-C)}{D} \right]^{2,5} = \\ &= \frac{89 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 1,4^3 \cdot \left[ \frac{100(0,01 - 0,001)}{1,4} \right]^{2,5} = 6,743 \text{ МН} \cdot \text{м,} \end{aligned}$$

де  $n_c$  – коефіцієнт стійкості,  $n_c = 2,4$  [18].

Допустимий вигинаючий момент:

$$[M] = \frac{[M]_{\text{М}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{[M]_{\text{М}}}{[M]_{\text{Е}}} \right)^2}} = \frac{2,123}{\sqrt{1 + \left( \frac{2,123}{6,743} \right)^2}} = 2,058 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умов стійкості циліндричної обичайки:

$$[F]_M = \pi(D + S - C)(S - C)[\sigma] = \\ = 3,14 \cdot (1,4 + 0,01 - 0,001) \cdot (0,01 - 0,001) \cdot 155 = 6,175 \text{ МН.}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля з умов стійкості в границях пружності:

$$[F]_E = \frac{310 \cdot 10^{-6} E}{n_c} D^2 \left[ \frac{100(S - C)}{D} \right]^{2,5} = \\ = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 1,4^2 \cdot \left[ \frac{100(0,01 - 0,001)}{1,4} \right]^{2,5} = 16,777 \text{ МН.}$$

Допустиме осьове стискуjące зусилля:

$$[F] = \frac{[F]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[F]_M}{[F]_E} \right)^2}} = \frac{6,175}{\sqrt{1 + \left( \frac{6,175}{16,777} \right)^2}} = 5,795 \text{ МН.}$$

Допустиме поперечне зусилля за умовами міцності:

$$[Q]_M = 0,25 \cdot \pi \cdot D \cdot (S - C) \cdot [\sigma] = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 1,4 \cdot (0,01 - 0,001) \cdot 155 = 1,534 \text{ МН.}$$

Допустиме поперечне зусилля за умовами стійкості в границях пружності:

$$[Q]_E = \frac{2,4 E (S - C)^2}{n_c} \left[ 0,18 + 3,3 \frac{D(S - C)}{L^2} \right] = \\ = \frac{2,4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (0,01 - 0,001)^2}{2,4} \cdot \left[ 0,18 + 3,3 \frac{1,4 \cdot (0,01 - 0,001)}{6^2} \right] = 2,935 \text{ МН.}$$

Допустиме поперечне зусилля:

$$[Q] = \frac{[Q]_M}{\sqrt{1 + \left( \frac{[Q]_M}{[Q]_E} \right)^2}} = \frac{1,534}{\sqrt{1 + \left( \frac{1,534}{2,935} \right)^2}} = 1,359 \text{ МН.}$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Геометричні характеристики циліндричної обичайки без підкладного листа:

$$y = \frac{D}{S - C} = \frac{1,4}{0,01 - 0,001} = 155,556,$$

$$u = \frac{L}{D} = \frac{6}{1,4} = 4,286.$$

Коефіцієнт, що враховує часткове заповнення апарату рідиною:

$$K_9 = \max \{ f(z); 1 \} = \max \{ 1,34; 1 \} = 1,34.$$

де  $f(z) = 1,34$  визначається за наступною формулою:

$$\begin{aligned} z = & 1,6 - 0,20924 \cdot (u - 1) + 0,028702 \cdot u \cdot (u - 1) + 0,04795 \cdot 10^{-3} \cdot y \cdot (u - 1) - \\ & - 0,2391 \cdot 10^{-6} \cdot u \cdot y \cdot (u - 1) - 0,89936 \cdot 10^{-6} \cdot (u - 1) \cdot y^2 + \\ & + 0,88174 \cdot 10^{-6} \cdot u^2 \cdot (u - 1) - 0,75995 \cdot 10^{-8} \cdot y^2 \cdot (u - 1) \cdot u^3 + 0,48168 \cdot 10^{-9} \cdot (u - 1) \cdot y = \\ & + 1,6 - 0,20924 \cdot (155,556 - 1) + 0,028702 \cdot 155,556 \cdot (155,556 - 1) + 0,04795 \cdot 10^{-3} \cdot 4,286 \cdot \\ & \cdot (155,556 - 1) - 0,2391 \cdot 10^{-6} \cdot 155,556 \cdot 4,286 \cdot (155,556 - 1) - \\ & - 0,89936 \cdot 10^{-6} \cdot (155,556 - 1) \cdot 4,286^2 + 0,88174 \cdot 10^{-6} \cdot 155,556^2 \cdot (155,556 - 1) - \\ & - 0,75995 \cdot 10^{-8} \cdot 4,286^2 \cdot (155,556 - 1) \cdot 155,556^3 + 0,48168 \cdot 10^{-9} \cdot (155,556 - 1) \cdot 4,286 = \\ & = 1,34. \end{aligned}$$

Коефіцієнти, що враховує вплив ширини поясу опори

$$K_{10} = \max \left\{ \frac{e^{-\beta} \sin \beta}{\beta}; 0,25 \right\} = \max \{ -0,0052; 0,25 \} = 0,25,$$

$$K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta} \sin \beta}{\beta} = \frac{1 - e^{3,243} \cdot \sin 3,243}{3,243} = 0,36.$$

Коефіцієнти, що враховують вплив кута охоплення:

$$K_{12} = \frac{1,15 - 0,143 \cdot \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180}}{\sin \left( 0,5 \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180} \right)} = \frac{1,15 - 0,143 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}}{\sin \left( 0,5 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180} \right)} = 0,852,$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$K_{13} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1\delta_1 \cdot \frac{\pi}{180}}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5\delta_1)} = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}}{3,14}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180})} = 0,071,$$

$$K_{14} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180}}{\sin(0,5 \cdot \delta_1 \cdot \frac{\pi}{180})} = \frac{1,45 - 0,43 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180}}{\sin(0,5 \cdot 140 \cdot \frac{3,14}{180})} = 0,425.$$

Коефіцієнти, що враховують відстань від осі опори до днища:

$$K_{15} = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8\sqrt{\gamma} + 6\gamma}{\delta_1} \right\} = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8\sqrt{0,243} + 6 \cdot 0,243}{140 \cdot \frac{3,14}{180}} \right\} =$$

$$= \min \{1,0; 0,759\} = 0,759,$$

$$K_{16} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6\gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3\delta_1}} = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot 0,243)^2} \cdot \sqrt{\frac{3,14}{3 \cdot 140 \cdot \frac{\pi}{180}}} = 0,864.$$

Коефіцієнти, що враховують геометричні розміри циліндричної обичайки:

$$K_{17} = \frac{1}{1 + 0,6 \sqrt[3]{\frac{D}{S-C} \cdot \frac{b}{D} \delta_1}} = \frac{1}{1 + 0,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,4}{0,01-0,001} \cdot \frac{0,4}{1,4} \cdot 140 \cdot \frac{\pi}{180}}} = 0,307,$$

$$K_{19} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{S-C} \delta_1}} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,4}{0,01-0,001} \cdot 140 \cdot \frac{\pi}{180}}} = 0,063.$$

Перевірка несучої спроможності обичайки в перерізі між опорами.

Умова міцності:

$$\frac{PD}{4(S-C)} + \frac{4M_{12}K_9}{\pi D^2(S-C)} \leq \varphi[\sigma],$$

$$\frac{PD}{4 \cdot (S - C)} + \frac{4M_{12}K_9}{\pi D^2 \cdot (S - C)} = \frac{0,1 \cdot 1,4}{4 \cdot (0,01 - 0,001)} + \frac{4 \cdot (-0,027) \cdot 1,34}{3,14 \cdot 1,4^2 \cdot (0,01 - 0,001)} = 1,249 \text{ МПа},$$

$$\varphi[\sigma] = 1 \cdot 155 = 155 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності за формулою (4.82):

$$1,249 < 155 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Умова стійкості:

$$\frac{|M_{12}|}{[M]} = \frac{0,027}{2,058} = 0,013 < 1.$$

Умова стійкості виконується.

Коефіцієнт  $K_2$ . За робочих умов  $K_2=1,2$ , за умов монтажу  $K_2=1$ [19].

Коефіцієнти, що враховують ступінь навантаження загальними мембранними напруженнями:

У точці 2:

$$v_{21}^{(2)} = -\bar{\sigma}_{\max} \frac{K_2}{n_T[\sigma]} = -2,282 \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 155} = -0,015,$$

$$v_{22}^{(2)} = \left( \frac{PD}{4(S - C)} - \bar{\sigma}_{\max} \right) \cdot \frac{K_2}{n_T[\sigma]} = \left( \frac{0,1 \cdot 1,4}{4(0,01 - 0,001)} - 2,282 \right) \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 155} = 0,0046.$$

У точці 3:

$$v_{21}^{(3)} = 0,$$

$$v_{22}^{(3)} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S - C)} \cdot \frac{K_2}{n_T[\sigma]} = \frac{0,1 \cdot 1,4}{2 \cdot (0,01 - 0,001)} \cdot \frac{1,2}{1,5 \cdot 155} = 0,02.$$

Коефіцієнт, що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину.

У точці 2:

Оскільки  $v_{21}^{(2)} = -0,01 < 0$  то:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

$$v_{11}^{(2)} = \frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = \frac{0,23 \cdot 0,071 \cdot 0,759}{0,852 \cdot 0,25} = 0,058.$$

Оскільки  $v_{22}^{(2)} = 0,153 > 0$  то:

$$v_{12}^{(2)} = -\frac{0,23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}} = -\frac{0,23 \cdot 0,071 \cdot 0,759}{0,852 \cdot 0,25} = -0,058.$$

У точці 3:

Оскільки  $v_{21}^{(3)} = 0$ , то:

$$v_{11}^{(3)} = -\frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5\delta)} = -\frac{0,53 \cdot 0,36}{0,425 \cdot 0,864 \cdot 0,307 \cdot \sin(0,5 \cdot 140 \frac{\pi}{180})} = -1,798.$$

Оскільки  $v_{22}^{(3)} = 0,327 > 0$ , то:

$$v_{12}^{(3)} = -\frac{0,53 \cdot K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0,5\delta)} = -\frac{0,53 \cdot 0,519}{0,425 \cdot 0,84 \cdot 0,395 \cdot \sin(0,5 \cdot 140 \frac{\pi}{180})} = -2,075.$$

Коефіцієнт  $K_1$ .

У точці 2:

Оскільки  $v_{11}^{(2)} = 0,052 \neq 0$ , то:

$$K_{11}^{(2)} = \frac{1 + 3v_{11}^{(2)}v_{21}^{(2)}}{3(v_{11}^{(2)})^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot (v_{11}^{(2)})^2 [1 - (v_{21}^{(2)})^2]}{[1 + 3v_{11}^{(2)}v_{21}^{(2)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot 0,058 \cdot 0,015}{3 \cdot 0,058^2} \left( \sqrt{\frac{9 \cdot 0,058^2 \cdot [1 - 0,015^2]}{[1 + 3 \cdot 0,058 \cdot 0,015]^2} + 1} - 1 \right) = 1,484,$$



$$K_{11}^{(2)} = \frac{1 + 3\nu_{12}^{(2)}\nu_{22}^{(2)}}{3(\nu_{12}^{(2)})^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot (\nu_{12}^{(2)})^2 [1 - (\nu_{22}^{(2)})^2]}{[1 + 3\nu_{12}^{(2)}\nu_{22}^{(2)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-0,058) \cdot 0,0046}{3 \cdot (-0,058)^2} \left( \sqrt{\frac{9 \cdot (-0,058)^2 \cdot [1 - 0,0046^2]}{[1 + 3 \cdot (-0,058) \cdot 0,0046]^2} + 1} - 1 \right) = 1,49,$$

$$K_1^{(2)} = \min \{ K_{11}^{(2)}, K_{12}^{(2)} \} = \min \{ 1,484; 1,49 \} = 1,484.$$

У точці 3:

Оскільки  $\nu_{11}^{(3)} = -1,798 \neq 0$ , то:

$$K_{11}^{(3)} = \frac{1 + 3\nu_{11}^{(3)}\nu_{21}^{(3)}}{3(\nu_{11}^{(3)})^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot (\nu_{11}^{(3)})^2 [1 - (\nu_{21}^{(3)})^2]}{[1 + 3\nu_{11}^{(3)}\nu_{21}^{(3)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-1,798) \cdot 0}{3 \cdot (-1,798)^2} \cdot \left( \sqrt{\frac{9 \cdot (-1,798)^2 \cdot [1 - (0)^2]}{[1 + 3 \cdot (-1,798) \cdot 0]^2} + 1} - 1 \right) = 0,0015,$$

$$K_{11}^{(3)} = \frac{1 + 3\nu_{12}^{(3)}\nu_{22}^{(3)}}{3(\nu_{12}^{(3)})^2} \left( \pm \sqrt{\frac{9 \cdot (\nu_{12}^{(3)})^2 [1 - (\nu_{22}^{(3)})^2]}{[1 + 3\nu_{12}^{(3)}\nu_{22}^{(3)}]^2} + 1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1 + 3 \cdot (-1,798) \cdot 0,02}{3 \cdot (-1,798)^2} \cdot \left( - \sqrt{\frac{9 \cdot (-1,798)^2 \cdot [1 - 0,02^2]}{[1 + 3 \cdot (-1,798) \cdot 0,02]^2} + 1} - 1 \right) = 0,472,$$

$$K_1^{(3)} = \min \{ K_{11}^{(3)}, K_{12}^{(3)} \} = \min \{ 0,0015; 0,472 \} = 0,0015.$$

Граничне напруження вигину:

У точці 2:

$$[\sigma_1]^{(2)} = K_1^{(2)} [\sigma] \frac{n_T}{K_2} = 1,484 \cdot 155 \frac{1,5}{1,2} = 287,596 \text{ МПа.}$$

У точці 3:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

$$[\sigma_1]^{(3)} = K_1^{(3)} [\sigma] \frac{n_T}{K_2} = 0,381 \cdot 155 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 73,819 \text{ МПа.}$$

Допустимі опорні зусилля від навантажень в осьовому напрямку в точці 2:

$$[F]^{(2)} = \frac{0,7 \cdot [\sigma_1]^{(2)} \sqrt{D \cdot (S - C)} \cdot (S - C)}{K_{10} K_{12}} =$$

$$= \frac{0,7 \cdot 287,596 \cdot \sqrt{1,4 \cdot (0,01 - 0,001)} \cdot (0,01 - 0,001)}{0,25 \cdot 0,852} = 0,955 \text{ МН.}$$

Допустимі опорні зусилля від навантажень в осьовому напрямку в точці 3:

$$[F]^{(3)} = \frac{0,9 \cdot [\sigma_1]^{(3)} \sqrt{D \cdot (S - C)} \cdot (S - C)}{K_{14} K_{16} K_{17}} =$$

$$= \frac{0,9 \cdot 73,819 \cdot \sqrt{1,6 \cdot (0,01 - 0,001)} \cdot (0,01 - 0,001)}{0,425 \cdot 0,864 \cdot 0,307} = 0,594 \text{ МН.}$$

Ефективне осьове зусилля від місцевих мембранних напружень, що діють в області опори:

$$F_e = F_i \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{D}{S - C}} K_{13} K_{15} =$$

$$= 0,132 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot \sqrt{\frac{1,4}{0,01 - 0,001}} \cdot 0,071 \cdot 0,759 = 0,07 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Умова стійкості:

$$\frac{M_i}{[M]} + \frac{F_e}{[F]} + \left( \frac{Q_s}{[Q]} \right)^2 = \frac{0,041}{2,058} + \frac{0,07}{5,795} + \left( \frac{0,099}{1,359} \right)^2 = 0,037 < 1.$$

Умова стійкості виконується

Умова міцності опорного вузла:

$$F_i \leq \min \{ [F]^{(2)}; [F]^{(3)} \},$$

$$0,132 \text{ МН} < \min \{ 0,955; 0,594 \} \text{ МН.}$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Умова міцності опорного вузла виконується, підкладний лист застосовувати не треба.

### 5.8 Розрахунок ізоляції

Мета розрахунку: розрахувати та визначити товщину ізоляції корпуса і днища апарату.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.10.

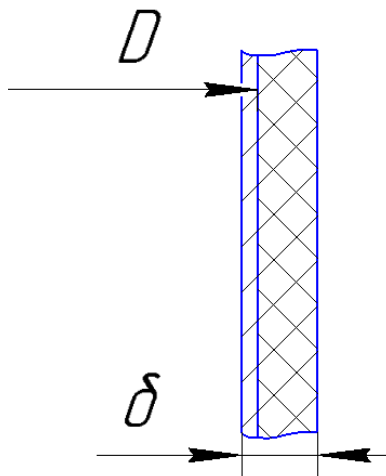


Рисунок 5.10– Схема ізоляції

Вихідні дані:

температура оточуючого середовища $t_c, ^\circ C$ ,	20;
температура в корпусі $t_k, ^\circ C$	55;
температура в днищі $t_d, ^\circ C$	60;
зовнішній діаметр корпуса $d$ , м	1,400;
матеріал ізоляції	скляне штапельне волокно.

Розрахунок ведемо за методикою [20].

Середня температура теплоізоляційного шару корпуса апарата:

$$t_{\text{шк}} = \frac{(t_{\text{к}} + 40)}{2} = \frac{(55 + 40)}{2} = 47,5^{\circ}\text{C}.$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції:

$$\lambda_{\text{кл}} = 0,042 + 0,0028 \cdot t_{\text{шк}} = 0,042 + 0,0028 \cdot 47,5 = 0,055 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Опір теплопередачі на один метр довжини теплоізоляційної конструкції:

$$r_1 = \frac{t_{\text{к}} - t_{\text{с}}}{q_1 \cdot K_1} = \frac{55 - 20}{140 \cdot 1} = 0,25 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

де  $q_1$  – нормована лінійна щільність теплового потоку з одного метра довжини циліндричної теплоізоляційної конструкції,  $q_1 = 140 \text{ Вт/м}^2$ ,

$K_1$  – коефіцієнт, який враховує зміну вартості теплоти й теплоізоляційної конструкції,  $K_1 = 1$ .

Відношення зовнішнього діаметра ізоляційного шару до зовнішнього діаметра ізоляційного об'єкта:

$$B = \exp \left( 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{кл}} \cdot \left[ r_1 - r_{\text{м}} - \frac{1}{\alpha_e \cdot \pi \cdot (d + 0,1)} \right] \right) = \\ = \exp \left( 2 \cdot 3,14 \cdot 0,055 \cdot \left[ 0,25 - 0 - \frac{1}{12 \cdot 3,14 \cdot (1,4 + 0,1)} \right] \right) = 1,087,$$

де  $\alpha_e$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні теплоізоляційної конструкції до оточуючого середовища,  $\alpha_e = 12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ ,

$r_{\text{м}}$  – термічний лінійний опір,  $r_{\text{м}} = 0$ .

Попередньо товщина теплоізоляційного шару:

$$\delta_{\text{кл}} = \frac{d}{2} \cdot (B - 1) = \frac{1,4}{2} \cdot (1,087 - 1) = 0,061 \text{ м}$$

Тоді товщина теплоізоляційного шару

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

$$\delta_{\kappa} = \delta_{\kappa 1} \cdot K_c \cdot \frac{d + \delta_{\kappa 1}}{d + 2 \cdot \delta_{\kappa 1}} = 0,061 \cdot 1,6 \cdot \frac{d + 0,061}{d + 2 \cdot 0,061} = 0,094 \text{ м},$$

де  $K_c$  – коефіцієнта ущільнення ізоляції,  $K_c = 1,6$ .

Приймаємо товщину ізоляції  $\delta_{\kappa} = 0,1 \text{ м}$ .

Середня температура теплоізоляційного шару днища апарата:

$$t_{\text{шд}} = \frac{(t_{\text{д}} + 40)}{2} = \frac{(60 + 40)}{2} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Теплопровідність теплоізоляційного шару в конструкції:

$$\lambda_{\text{д}} = 0,042 + 0,0028 \cdot t_{\text{шд}} = 0,042 + 0,0028 \cdot 50 = 0,056 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

Опір теплопередачі на один метр довжини теплоізоляційної конструкції:

$$r_2 = \frac{t_{\text{д}} - t_{\text{с}}}{q_2 \cdot K_1} = \frac{50 - 20}{140 \cdot 1} = 0,286,$$

де  $q_2$  – нормована лінійна щільність теплового,  $q_2 = 140 \text{ Вт/м}^2$ .

Термічний опір теплоізоляційної конструкції:

$$R = r_2 - \frac{1}{\alpha_e} - r_{\text{м}} = 0,286 - \frac{1}{12} - 0 = 0,202$$

Попередньо товщина теплоізоляційного шару:

$$\delta_{\text{д1}} = \lambda_{\text{д}} \cdot R = 0,056 \cdot 0,202 = 0,0034 \text{ м}.$$

Тоді товщина теплоізоляційного шару:

$$\delta_{\text{д}} = \delta_{\text{д1}} \cdot K_c \cdot \frac{d + \delta_{\text{д1}}}{d + 2 \cdot \delta_{\text{д1}}} = 0,0034 \cdot 1,6 \cdot \frac{1,400 + 0,0034}{1,400 + 2 \cdot 0,0034} = 0,0054 \text{ м}.$$

Приймаємо товщину ізоляції  $\delta_{\text{д}} = 0,006 \text{ м}$ .

Висновок: товщини ізоляції складає для корпусу  $\delta_{\kappa} = 0,01 \text{ м}$  і днища

$\delta_{\text{д}} = 0,006 \text{ м}$ .

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

## 5.9 Розрахунок укріплення отворів

Мета розрахунку: визначити, чи потребують отвори укріплення.

Розрахункова схема зображена на рисунку 5.11.

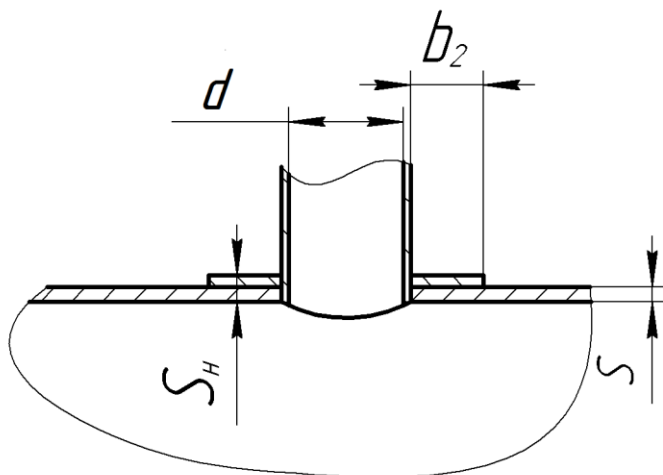


Рисунок 5.11– Схема укріплення отворів

Вихідні дані:

діаметр апарату $D$ , м	1,4;
діаметр отвору $d$ , м	0,1;
виконавча товщина стінки $S$ , м	0,01;

Розрахунок ведемо за методикою [21].

Умова поодинокості отвору :

$$\Delta = 2\sqrt{D \cdot (S - C)} = 2 \cdot \sqrt{1,4 \cdot (0,01 - 0,001)} = 0,224 \text{ м}$$

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

де  $C$  – додаток до розрахункової товщини,  $C = 0,001\text{м}$

Найбільший допустимий діаметр отвору, який не потребує укріплення:

$$d_o = 2 \cdot \left[ \left( \frac{S - C}{S_p} \right) - 0,8 \cdot \sqrt{D \cdot (S - C)} - C_{ш} \right] =$$

$$2 \cdot \left[ \left( \frac{0,01 - 0,001}{0,005} \right) - 0,8 \cdot \sqrt{1,4 \cdot (0,01 - 0,001)} - 0,001 \right] = 0,222\text{м}$$

$$d = 0,1 < d_o = 0,222$$

де  $S_p$  – розрахункова товщина стінки обичайки,  $S_p = 0,005\text{м}$  ;

$C_{ш}$  – додаток до товщини штуцера,  $C_{ш} = C = 0,001$ .

Висновок : Укріплення отворів за даних умов не потрібно.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 Рекомендації, щодо монтажу та експлуатації теплообмінника

Складальні роботи з монтажу полягають в установці апарату, приєднанні допоміжного устаткування. Одночасно проводиться налагодження роботи теплообмінника, та підготовка до експлуатації.

Загальні вказівки:

- а) способи транспортування, розвантаження і зберігання повинні бути обрані таким чином, щоб уникнути механічних пошкоджень частин апарату та зберегти його від корозійного впливу.
- б) стропування апаратів повинне виконуватись у відповідності зі схемою, яка вказана в паспорті апарата.
- в) забороняється стропувати теплообмінник за не призначені для цього, виступаючі частини;
- г) транспортування та розвантаження комплектуючих, яки прийшли в окремих коробках проводити обережно;
- д) забороняється транспортувати апарат волоком.

Заходи перед монтажем:

- провести розпаковку та огляд всіх одиниць та деталей;
- перевірити комплектність апарата по відомостям;

Заходи безпеки під час монтажу, використання та ремонту:

- а) усі роботи повинні здійснюватись з дотриманням правил безпеки встановлених на підприємстві.
- б) повинні бути вжиті заходи, які запобігають перекиданню апарата набік;
- в) заборонено втручання у конструкцію апарата та спроби провести ремонт під час роботи;
- г) примусове зупинення апарату проводиться за таких випадків:
  - підвищення робочих параметрів вище дозволених технічною характеристикою;

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80



- виявлення розгерметизації апарату, чи пошкоджень у вузлах, що відповідають за герметичність;
- виявлення несправності контрольно-вимірювальних приладів та запобіжних елементів;
- при виникненні пожежі, або інших надзвичайних ситуацій;
- виявлення недостачі кріпильних виробів (бовтів, гайок, шайб і т.ін.);

д) у холодну пору року не допускається замерзання рідин в апараті;

е) апарати не повинні генерувати вібрації та шум, що перевищують встановлені норми;

ж) попереджувачі знаки та маркуючі щитки повинні виконуватися на місці монтажу.

#### Підготовка до роботи:

а) підприємство-власник зобов'язане отримати технологічний регламент установки з умовами експлуатації обладнання;

б) перед пуском апаратів в експлуатацію видаляється повітря із апарату. Вміст кисню в речовині, що виходить із апарата, складає не більше 2% за показниками контрольно-вимірювальних приладів.

#### Перед пуском апарата необхідно перевірити:

а) надійність та комплектність усіх з'єднань;

б) надійність та герметичність приєднання трубопроводів.

#### Перевірка технічного стану і технічне обслуговування:

а) за необхідністю черговим слюсарем проводиться ремонт або заміна манометрів, термометрів і т. п. у випадку виходу з ладу;

б) планово-попереджувачий ремонт апаратів проводиться у відповідності до діючого на підприємстві положення.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

Стандартизація у машинобудуванні – установлення і використання стандартів з метою упорядкування. До стандартного належить виріб (складова частина, деталь, складальна одиниця) застосований згідно з державним чи галузевим стандартом, яким встановлено його конструкцію, якісні характеристики, методи контролю.

Уніфікація –приведення виробів або їх елементів до однієї форми, розмірів, структури, та складу.

Розрахунок виконаний за [26]

Мета розрахунку: визначення рівня стандартизації та уніфікації теплообмінника.

Вихідні дані:

Загальна кількість деталей  $N$ , шт 660;

Кількість стандартних деталей  $n_c$ , шт 390;

Кількість уніфікованих деталей  $n_z$ , шт 104;

Коефіцієнт стандартизації:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{390}{660} = 0,59;$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{n_c + n_z}{N} = \frac{390 + 104}{660} = 0,748.$$

Висновок: у результаті розрахунку встановлено, що коефіцієнт стандартизації  $K_c = 0,59$ , а коефіцієнт уніфікації  $K_y = 0,748$ .

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

## 8.Економічна частина проекту

Підвищення рівня конкурентоспроможності продукції вітчизняного хімічного машинобудування неможливе без впровадження нових технологій, високопродуктивного обладнання, сучасних прогресивних конструкційних матеріалів, а також без технічного переозброєння, реконструкції та будівництва нових діляниць, цехів та підприємств в цілому. Все це потребує великих інвестицій, яких не вистачає в Україні в нинішніх умовах трансформації економіки країни на засади ринкової економіки.

Виходячи з цього, кожний технічний, організаційний чи господарський проект або будь – яке нововведення повинні бути ретельно обґрунтовані з економічної точки зору.

Економічна частина даного дипломного проекту має на меті зробити техніко-економічні обґрунтування доцільності модернізації конкретно обраного апарату (теплообмінника), в якому проходить теплообмінний процес, зокрема, охолодження метанолу водою. Такі апарати знайшли в даний час широке застосування в хімічній, харчовій, біологічній та і в інших галузях промисловості. Зокрема теплообмінні апарати застосовуються для нагрівання або охолодження різних речовин для подальшого використання, транспортування, чи зберігання. Таким чином виконання робіт по удосконаленню конструкції теплообмінника є досить актуальною проблемою, яке вимагає вирішення і яке може сприяти підвищенню ефективності виробництва.

При виконанні робіт по удосконаленню конструкції діючого апарату необхідно було обрати базисний зразок аналогічного апарату для порівняння їх техніко-економічних показників. Такий базисний апарат має горизонтальний корпус з кришкою та еліптичним днищем, теплообмінні труби. Теплоносій, що охолоджується – рухається в трубному просторі. А вода, що приймає тепло – у міжтрубному.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

## 8.1 Техніко – економічні показники

Даний базисний апарат має досить добрі експлуатаційні характеристики. Однак з нашої точки зору є цілий ряд невикористаних резервів, реалізація яких може суттєво підвищити експлуатації базисного апарату. Зокрема, з метою інтенсифікації процесу теплообміну пропонується виконати таку роботу по зміні конструкції теплообмінника:

- 1) змінити конструкцію теплообмінних труб.

Таким чином виконана робота дозволяє нам:

- 1) інтенсифікувати процес теплообміну;
- 2) підвищити коефіцієнт теплопередачі.

Основні техніко-економічні показники базового та модернізованого теплообмінника представлено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Порівняльна характеристика базового та модернізованого теплообмінника

Назва показників	Одиниця вимірювання	Конструкція	
		Базова	Модернізована
1	2	3	4
Продуктивність теплообмінника за метанолом	кг/с	8	10
Тиск у теплообміннику: - трубний простір	МПа	0,1	0,1

Продовження таблиці 8.1

1	2	3	4
- міжтрубний простір	МПа	0,1	0,1
Температура метанолу:			
- на вході	К	333	333
- на виході		293	293
Температура води:			
- на вході	К	281	281
- на виході		328	328
Вартість теплообмінника $\Phi_{\text{перв}}$ (первісна)	тис.грн.	70	95
Тривалість ремонтного циклу	місяців	15	17
Габаритні розміри теплообмінника:			
- довжина	мм	7150	7150
- внутрішній діаметр		1200	1400
Маса апарату	кг	11860	16260

## 8.2 Розрахунки витрат на проведення проектно-конструкторських робіт по удосконаленню теплообмінника

Модернізацію базового апарату (теплообмінника) розраховуємо у відповідності зі ступенем складності та обсягів проектно-конструкторської документації, яку необхідно розробити на етапи конструкторської підготовки.

Модернізація діючого устаткування означає його вдосконалення з метою попередження або усунення фізичного зносу, техніко-економічного старіння та підвищення його технічних параметрів до рівня сучасних вимог.

Економічно доцільно здійснювати модернізацію устаткування під час проведення його капітального ремонту. Зазвичай модернізація устаткування хімічної та нафтопереробної галузей промисловості забезпечує збільшення його продуктивності на 10-18%, а здійснені згідно з нею витрати не перевищують половини вартості нових знарядь виробництва аналогічного призначення.

Розрахунки ефективності на проведення модернізації устаткування полягають у визначенні коефіцієнта ефективності витрат  $n_{p_i}$ , який розраховується за формулою [22, с. 6]

$$n_{p_i} = 1 - \frac{M_i + S_{e_i}}{K_{H_i} \alpha \beta + S_{a_i}}, \quad (8.1)$$

де  $M_i$  - сукупні витрати на проведення модернізації устаткування, грн.;

$S_{e_i}$  - перевищення експлуатаційних (поточних) витрат модернізованого устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням, грн.;

$K_{H_i}$  - оптова ціна придбання нового аналогічного устаткування, грн.;

$\alpha$  - коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

$\beta$  - коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування;

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

$S_{a_i}$  - втрати від недоамортизації устаткування, яке підлягає модернізації.

Розрахований по формулі (8.1) коефіцієнт  $n_{p_i}$  може мати позитивні, негативні або нульове значення (таблиця 8.2).

Сукупні витрати  $M_i$  на проведення модернізації устаткування складаються з таких окремих елементів, а саме:

- матеріальні витрати (вартість сировини, матеріалів, комплектуючих виробів та енергоносіїв, які необхідні для виконання модернізації);
- витрати на оплату праці (заробітна плата розробників конструкторської та технологічної документації; заробітна плата основних робітників, які виконують роботи по модернізації устаткування; відрахування на соціальне страхування);
- амортизація, яка нарахована на діюче устаткування, яке підлягає модернізації;
- інші види витрат.

Таблиця 8.2 - Значення коефіцієнту ефективності витрат  $n_{p_i}$  на модернізацію устаткування [22, с.6, таблиця 2]

Величина коефіцієнта $n_{p_i}$	Висновок щодо доцільності модернізації устаткування
$n_{p_i} > 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору доцільна
$n_{p_i} < 0$	Модернізація устаткування з економічної точки зору недоцільна. Доцільним є придбання нового устаткування.
$n_{p_i} = 0$	Рішення про модернізацію устаткування приймається, виходячи з конкретних виробничих обставин.

З достатньою для розрахунків точністю, яка базується на практичних даних

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

підприємств хімічного машинобудування, величина сукупних витрат  $M_i$  на модернізацію устаткування може бути розрахована по формулі [19, с. 7]:

$$M_i = \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} \cdot K_i, \quad (8.2)$$

де  $\Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}}$  – первісна (відновлена) вартість устаткування, яке підлягає модернізації;

$K_i$  - коефіцієнт витрат, величина якого залежить від виду і типу устаткування, яке підлягає модернізації. Рекомендовані величини коефіцієнтів  $K_i$  приведені в [22, с. 8, таблиця 3].

Модернізоване устаткування у процесі подальшої експлуатації, як правило, вимагає більш високих експлуатаційних (поточних) витрат у порівнянні з аналогічним новим устаткуванням.

Згідно даних підприємств, де експлуатується аналогічне обладнання, первісна вартість теплообмінника  $\Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} = 90$  тис. грн.

Величина коефіцієнта витрат на модернізацію  $K_i$  згідно даних табл. 3 [22, стор.8]  $K_i = 0,06$ .

Таким чином величина витрат для проведення модернізації теплообмінника:

$$M_i = \Phi_{i_{\text{перв}}}^{\text{мод}} \cdot K_i = 90000 \cdot 0,06 = 5400 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні (поточні) витрати при роботі устаткування складаються з таких витрат:

- витрати паливно-мастильних матеріалів;
- витрати на придбання та виготовлення необхідних запасних частин;
- витрати на оплату праці ремонтного персоналу;
- інші поточні експлуатаційні витрати.

З достатнім для розрахунків ступенем точності, який базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88



перевищення експлуатаційних (поточних) витрат по модернізованому устаткуванню порівняно з новим аналогічним устаткуванням  $S_{e_i}$  може бути розрахована по формулі [22, с. 9]:

$$S_{e_i} = q_{b_i} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} - q_{b_n} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} \quad (8.3)$$

де  $q_{b_i}$  – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат устаткування, яке підлягає модернізації;

$q_{b_n}$  – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат аналогічного нового устаткування;

$\Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}}$  – первісна вартість нового (аналогічного) устаткування.

Таким чином розраховуємо величину перевищення поточних витрат по модернізованому устаткуванню порівняно з новим аналогічним устаткуванням:

$$S_{e_i} = q_{b_i} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{мод}} - q_{b_n} \cdot \Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 0,12 \cdot 90000 - 0,1 \cdot 70000 = 3800 \text{ грн.}$$

Примітка: Згідно даних, які вміщують інтернет-відомості вартість нового аналогічного устаткування складає  $\Phi_{\text{перв}}^{\text{нов}} = 70 \text{ тис. грн.}$

Коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування  $\alpha$  розраховується по формулі [22, с. 11]:

$$\alpha = \frac{\Pi_i}{\Pi_{\text{нов}}} \quad (8.4)$$

де  $\Pi_i$  – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу устаткування, яке підлягає модернізації;

$\Pi_{\text{нов}}$  – продуктивність або інший один з найбільш важливих показників, який характеризує роботу аналогічного нового устаткування.

Тоді коефіцієнт співвідношення продуктивності модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування становить:

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

$$\alpha = \frac{\Pi_i}{\Pi_{\text{нов}}} = \frac{5}{4} = 1,25.$$

Коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування  $\beta$  розраховується по формулі [22, с. 11]:

$$\beta = \frac{T_{\text{мод}}}{T_{\text{нов}}}, \quad (8.5)$$

де  $T_{\text{мод}}$  – тривалість ремонтного циклу устаткування, яке підлягає модернізації;  
 $T_{\text{нов}}$  – тривалість ремонтного циклу аналогічного нового устаткування.

Таким чином, коефіцієнт співвідношення тривалості ремонтного циклу модернізованого устаткування та аналогічного нового устаткування  $\beta$  становить:

$$\beta = \frac{T_{\text{мод}}}{T_{\text{нов}}} = \frac{17}{15} = 1,133.$$

Тривалість ремонтного циклу устаткування – це період часу між двома капітальними ремонтами устаткування, або тривалість часу між придбанням устаткування та першим капітальним ремонтом. В якості показників ремонтного циклу можуть також використовуватися показники виробітку продукції між двома капітальними ремонтами устаткування та інші аналогічні показники.

Підставляючи всі знайдені величини у формулу (8.1), необхідно отримати величину коефіцієнта ефективності витрат  $n_{pi}$ , розрахункова величина якого дає нам змогу зробити висновки щодо доцільності проведення модернізації обраного в дипломному проекті устаткування.

$$n_{pi} = 1 - \frac{M_i + S_{e_i}}{K_{Hi} \cdot \alpha \cdot \beta + S_{a_i}} = 1 - \frac{5400 + 3800}{70000 \cdot 1,25 \cdot 1,133 + 10000} = 0,084.$$

Висновок: розраховане значення коефіцієнта ефективності витрат  $n_{pi} > 0$ , а це значить, що модернізація теплообмінника є економічно доцільна. У якості аналога використовувався сучасний вітчизняний теплообмінник.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

## Висновки

В дипломному проекті освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» на тему «Модернізація теплообмінника установки виробництва метанолу» було модернізовано кожухотрубний теплообмінник для охолодження метанолу у процесі його виробництва.

Для виконання поставленого завдання проведено огляд існуючих конструкцій на основі якого зроблено вибір конструкції апарата на користь з теплообмінника з нерухомими трубками.

Сутність модернізації полягає у заміні звичайних теплообмінних труб на труби змінного діаметру з почерговими циліндричними ділянками і з'єднувальними конфузорними і дифузорними ділянками, циліндричні ділянки розташовані ексцентрично.

Таке виконання дозволяє підвищити ступінь турбулізації.

За результатами проведених розробок отримано патент України № 133145, опубліковані дві тези в “XXIII та XXIV Всеукраїнська наукова конференція студентів та молодих вчених”.

Проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що пов'язані з виробництвом метанолу, на основі якого зроблено висновок, що установка повністю відповідає вимогам охорони праці.

Здійсненні розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції. Виконаний параметричний розрахунок, гідравлічний розрахунок, конструктивний розрахунок, розрахунки на міцність основних вузлів та деталей апарата (визначення товщини стінки циліндричної обичайки та еліптичного днища, розрахунок фланцевого з'єднання, розрахунок опор, розрахунок укріплення отворів) та розрахунок ізоляції. Розрахунки на міцність виконані згідно діючих державних та галузевих стандартів.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Наведені рекомендації з виготовлення, монтажу й експлуатації розробленого апарата. Проведено техніко-економічне обґрунтування модернізації.

Графічна частина проекту включає три креслення формату А1 та два креслення формату А2 що містять технологічну схему виробництва метанолу, складальне креслення теплообмінника, креслення корпусу, креслення розподільчої камери, креслення кришки. До складальних креслень складені специфікації. Креслення виконані із застосуванням програмного забезпечення КОМПАС, розрахунки – за допомогою MathCad.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

## Выводы

В дипломном проекте образовательно-квалификационного уровня «бакалавр» на тему «Модернизация теплообменника установки производства метанола» был модернизирован кожухотрубный теплообменник для охлаждения метанола в процессе его производства.

Для выполнения поставленной задачи проведен обзор существующих конструкций на основе которого сделан выбор конструкции аппарата в пользу теплообменника с неподвижными трубками.

Суть модернизации состоит в замене обычных теплообменных труб на трубы переменного диаметра с поочередными цилиндрическими участками и соединительными конфузорными и диффузорными участками, цилиндрические участки расположены эксцентрично. Такое исполнение позволит повысить уровень турбулизации.

По результатам проведенных разработок получен патент Украины № 133145, опубликованные два тезиса в "XXIII и XXIV Всеукраинская научная конференция студентов и молодых ученых".

Проведен анализ вредных и опасных факторов, связанных с производством метанола, на основе которого сделан вывод, что установка полностью соответствует требованиям охраны труда.

Осуществлении расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции. Выполненный параметрический расчет, гидравлический расчет, конструктивный расчет, расчеты на прочность основных узлов и деталей аппарата (определение толщины стенки цилиндрической обечайки и эллиптического днища, расчет фланцевого соединения, расчет опор, расчет укрепления отверстий) и расчет изоляции. Расчеты на прочность выполнены согласно действующих государственных и отраслевых стандартов.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

Приведены рекомендации по изготовлению, монтажу и эксплуатации разработанного аппарата. Проведено технико-экономическое обоснование модернизации.

Графическая часть проекта включает три чертежи формата А1 и два чертежа формата А2 содержащие технологическую схему производства метанола, сборочный чертеж теплообменника, чертежи корпуса, чертежи распределительной камеры, чертежи крышки. К сборочным чертежам составлены спецификации. Чертежи выполнены с применением программного обеспечения КОМПАС, расчеты - с помощью MathCad.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

## Conclusions

In the Bachelor Diploma project on the theme: "Modernization of a shell-tube heat exchanger for the production of methanol" has been developed.

For accomplishing the task, a review of existing structures has been done, resulting of searching led to the choice of the heat exchanger with fixed tubes.

Modernization is consisted of the replacing conventional heat exchange tubes with tubes of variable diameter with alternate cylindrical sections and connecting confusor and diffuser sections, the cylindrical sections are located eccentrically. Such a design will increase the level of turbulence.

According to the results of the development, the Ukrainian patent № 133145 was obtained, two theses were published at Ukrainian Scientific Conference.

The analysis of hazardous and hazardous factors related to the production of methanol has been carried out, on the basis of which it is concluded that the installation fully meets the requirements of Occupational Health.

Realization of calculations proving the efficiency and reliability of the design. Parametric, hydraulic , structural calculation, calculations for the strength of the main units and parts of the device (determination of the thickness of the wall of the cylindrical shell and the elliptical bottom, calculation of the flanged connection, hole reinforcement calculation,) and the calculation of the insulation are carried out.

Calculations for durability are performed in accordance with current state and industry standards.

The recommendations for manufacturing, installation and operation of the developed device are given. Techno-economic justification of modernization has been implemented.

The graphic part of the project was made in "COMPAS 3D environment and includes three drawings of A1 format and two drawings of A2 format containing: a technological scheme for methanol production, the drawing of the heat exchanger

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

assembly, the drawing of case, a drawing of a distribution chamber, and a drawing of a cover. All calculations were made by using MathCad.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## Перелік посилань:

1. Патент №121952 (UA), МПК 2006.01F28D 7/00. Кожухотрубний теплообмінник Мікульонок Ігор Олегович, Андреев Ігор Анатолійович, Орел Олексій Юрійович; Заявка №u201605788, 12.06.2017; Опубл. 26.12.2017, Бюл. №3.
2. Патент №117692 (UA), МПК 2017.01F28D 7/00, F28F 13/00. Портативний теплообмінник/ Бойко Ігор Миколайович; Заявка №u201612404, 06.12.2016; Опубл. 10.07.2017, Бюл. №13.
3. Патент №114845 (UA), МПК 2006.01F28D 7/00, F28F 9/00. Кожухотрубний теплообмінник з безпечним каналом/ Борисов Микола Анатолійович, Смірнов Андрій Віталійович, Серeda Роман Миколайович; Заявка №u201609013, 25.08.2016; Опубл. 27.03.2017, Бюл. №6.
4. Patent №US 20160370130 Heat exchanger with elastic element, Application No. 48795389, Date of Patent Jan. 22, 2015.
5. Patent №US 20160303533 Shell and tube heat exchanger with a shell having a polygonal section , Application No. 15/106,060, Date of Patent June. 25, 2015.
6. ГОСТ 5632 – 72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные.
7. Лашинский А. А. Конструирования сварных химических аппаратов - Л.: Машиностроение, 1981. – 385 с.
8. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі й чавуни: Навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад. І.А. Андреев, О.Г. Зубрій, І.О. Мікульонок,. - Київ : НТУУ „КПІ”, 1999. - 148 с.
9. ГОСТ 9940–81 Трубы безшовные горячедеформированные из коррозионно – стойкой стали.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

- 10.ГОСТ 9941–81. Трубы безшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно – стойкой стали.
- 11.Основи охорони праці. Жидацький В.Ц. 2004.
- 12.Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
- 13.Yaws C.L. Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamics, Engironmental Transport, Safety and Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals. McGraw-Hill, 1999. – 772 p.
- 14.Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1991. – 352.
- 15.ГОСТ 14249 – 89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
- 16.Лашинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с
- 17.Конструювання фланцевих з'єднань сталених посудин та апаратів. Навч. Посібник / І. О. Мікульонок. – К.: ІСДО, 1997. – 151 с
- 18.Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень: Навч. посібник / В. Г. Доброногов, І. О. Мікульонок. – К.: ІСДО, 1995. – 184 с.\
- 19.Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию.2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
- 20.МікульонокІ. О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних виробництв. Навч. посібник– К НАУК ДУМКА, 1999 – 152 с.
- 21.Тимонин А. С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник, том 1, изд. 2-е, перер. и доп. Калуга – 2002, 847с.
- 22.Укладач : А. М. Задольський, канд.екон. наук, доц., О. О. Шаповаленко. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

бакалаврів (для студентів інженерно – хімічного факультету). Київ. – 2010. – 16 с.

23.Оформление графической документации. Методические указания к выполнению курсовых и дипломных проектов / Сост. В.Н. Марчевский. – 1989.

24.Требования к оформлению графической документации.Методические указания к выполнению курсовых и дипломных проектов /Сост. В.Н. Марчевский. – 1989.

25.Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя : В 3 т. Т.3. – М.: Машиностроение, 2001. – 864с.

26.Методичні вказівки до виконання дипломного проекту освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр». [Електронний ресурс]: для студентів, які навчаються за напрямком „Машинобудування” спеціальність "Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів"/ НТУУ „КПІ”; уклад., А.Р. Степанюк, К.О. Гатілов,. - Київ : НТУУ „КПІ”, 2011. - 64 с.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

**Додаток А**

**Документація до патентного дослідження**

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А. Патентний пошук.

Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти конструкції проведений патентний пошук.

РЕГЛАМЕНТ ПОШУКУ № ЛН51.1.РП

Найменування теми Теплообмінник шифр теми ЛН51. 065116.000

Етап Проектування апарата та його основних частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень

ЛН51.15.04.2019

Обґрунтування регламенту пошуку **Предмет пошуку:** - теплообмінник (Об'єктом пошуку є винаходи та корисні моделі).

**Мета пошуку інформації** – визначення патентної ситуації щодо теплообмінних апаратів (визначення патентноздатності проєктованого апарата і визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці).

**Визначення держав пошуку.** Встановлюємо такі держави пошуку: Україна, США.

**Ретроспективність.** Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, на корисну модель - 6 років, тому регламент пошуку встановлюємо такий: 2017-2019 роки.

**Класифікаційні індекси.** Міжнародна патентна класифікація: МПК - F28D 1/00, F28D 1/053, F28D 7/00, F28F 1/42, F28F 9/00, F28F 9/02, F28F 9/12, F28F 13/00.

**Джерела інформації.** 1) Патентна інформація: описи до винаходів, офіційні бюлетені Укрпатенту 2) Науково-технічна інформація: монографії з тепломасообмінних процесів, підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічних технологій.

Початок пошуку 15.04.2019 Закінчення пошуку 19.05.2019

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

# Довідка про пошук № ЛН51.1.ДП

Завдання на проведення патентних досліджень ЛН51.065116.000 .  
(номер, дата)

Етап Проектування апарата та його складових частин .

Номер, дата регламенту пошуку ЛН51.1.РП, 15.04.2019 .

Початок пошуку 15.04.2019 Закінчення пошуку 19.05.2019

Таблиця А.1 – Регламент пошуку (форма А.1 згідно ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси МПК, НПК, МКПЗ, МКТП, УДК	Ретроспективність пошуку	Джерела інформації
Теплообмінник	Визначення патентно-здатності проектного апарата й тенденції розвитку цього напрямку в техніці	Україна, США.	F28D 1/00, F28D 1/053, F28D 7/00, F28F 1/42, F28F 9/00, F28F 9/02, F28F 9/12, F28F 13/00.	2017-2019	Національні й зарубіжні офіційні бюлетені, описи винаходів і корисних моделей

Джерела інформації, які були використані під час проведення пошуку наведені в таблиці А.2.

Таблиця А.2 - джерела інформації. Використані під час проведення пошуку

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні данні першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково-технічна інформація

Продовження таблиці А.2

1	2	3	4	5	6
Тепло-обмінник	Україна; США.	F28D 1/00, F28D 1/053, F28D 7/00, F28F 1/42, F28F 9/00, F28F 9/02, F28F 9/12, F28F 13/00	Державний патентний фонд бази даних об'єктів промислової власності, до яких надається безоплатний доступ в Інтернеті <a href="http://ep.espacenet.com/">http://ep.espacenet.com/</a> <a href="http://base.ukrpatent.org">http://base.ukrpatent.org</a> <a href="http://www.google.com/patents">http://www.google.com/patents</a>	Описи винаходів патентів України № 121952 Описи корисних моделей патентів України № 117692.  Описи корисних моделей патентів України № 114845. Описи винаходів патентів США № 2016037013 0 Описи винаходів патентів США № 2016030353 3	Дытнерский Ю.И. процессы и аппараты хим. Технологии: Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. – М.: Химия, 1992 – 384с.  Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии.–Л.: Химия, 1991.– 352 с. Звіти про НДР і ДКР.

У результаті проведення патентного пошуку для подальшого аналізу вибрані такі патентні документи (перелік згідно з таблиці А.3).

Таблиця А.3 – Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
Теплообмінник	Патент №121952 (UA), МПК 2017.01 F28F 7/00. Кожухотрубний теплообмінник/ Мікульонок Ігор Олегович, Андреев Ігор Анатолійович; Заявка № u201705788, 12.06.2017; Опубл. 26.12.2017, Бюл.№24	Діє
Теплообмінник	Патент №117692 (UA), МПК 2006.01 F28A 7/02,. Портативний туристичний теплообмінник/ Бойко Ігор Миколайович; Заявка № u201612404, 06.12.2016; Опубл. 10.07.2017, Бюл.№.13	Діє
Теплообмінник	Патент №114845 (UA), МПК 2006.01 F28D 7/00, F28F 9/00. Кожухотрубний теплообмінник з безпечним каналом/ Борисов Микола Анатолійович,Смірнов Андрій Віталійович,Середа Роман Миколайович; Заявка № u201609013, 25.08.2016; Опубл. 27.03.2017, Бюл.№.6.	Діє
Теплообмінник	Patent № US 20160370130Heat exchanger with elastic element, Application No. 48795389, Date of Patent Jan. 22, 2015	Діє
Теплообмінник	Patent № US 20160303533Shell and tube heat exchanger with a shell having a polygonal section , Application No. 15/106,060, Date of Patent June. 25, 2015	Діє



Аналіз новизни, винахідницького рівня та промислової придатності проєктованого об'єкта наведено в таблиці А.4.

Таблиця А.4 – Аналіз новизни, винахідницького рівня та промислової придатності проєктованого об'єкта

ОГД, його складові частини		Найближчий аналог		Очікуваний результат	Можливості використання у промисловості або іншій сфері діяльності	Номер поданої заявки, дата подачі заявки*
Назва	Сукупність ознак	Бібліографічні дані	Сукупність ознак			
1	2	3	4	5	6	7
Тепло-обмінник	А)горизонтальний корпус; Б)тепло-обмінні трубизмінного діаметру;	Патент на корисну модель №13314 5 (UA), МПК 2006.01 F28D 7/16.	горизонтальний корпус; Б)тепло-обмінні труби; В)перегородки	Покращення турбулізації	Можливе використання в хімічній нафтохімічній та інших галузях промисловості.	u 2018 10308, 17.10.2018, 25.03.2019

**Додаток Б**

**Комп'ютерний розрахунок елементів теплообмінника**

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б. Програма розрахунку товщини стінки теплообмінника під дією внутрішнього надлишкового тиску.

Товщина циліндричної обичайки

Сталь 12X18H10T

$$P = 0.1 \quad D = 1.4 \quad \sigma := 155$$

$$\varphi := 0.9$$

$$Sr := \frac{D \cdot P}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - P} = 5.02 \times 10^{-4}$$

$$Sr := 9 \cdot 10^{-3} \quad c1 := 0.5 \cdot 10^{-3} \quad c2 := 0.5 \cdot 10^{-3} \quad c3 := 0 \quad C := 0.001$$

$$S := Sr + c1 + c2 + c3 = 0.01$$

$$P_{\text{доп}} := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = 1.782$$

$$0.1 < 1.782$$

Таблиця Б.2 – Таблиця ідентифікаторів

Найменування	Ідентифікатор	Розмірність
Розрахунковий тиск	$P$	МПа
Внутрішній діаметр	$D$	м
Допустиме напруження	$\sigma$	МПа
Прибавка на корозію	$C$	м
Технологічна прибавка	$C_1$	м
Розрахункова товщина	$Sr$	м
Прийнята товщина	$S$	м
Допустимий тиск	$P_{\text{доп}}$	МПа
Коефіцієнт зварного шва	$\varphi$	-
Висота еліптичної частини	$H$	м
Швидкість корозії	$V$	мм / рік

### Б.3 Програма розрахунку еліптичного днища

Товщина еліптичного днища

Сталь 12Х18Н10Т

$$P = 0.1 \quad D = 1.4 \quad \sigma := 155$$

$$\varphi := 0.9$$

$$S_r := \frac{D \cdot P}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - 0.5P} = 5.019 \times 10^{-4}$$

$$S_r := 9$$

$$C := 1$$

$$S := S_r + C = 10$$

$$R_{доп} := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (S - C) \cdot 10^{-3}}{D + (S - C) \cdot 10^{-3}} = 1.782$$

$$0.1 < 1.782$$

$$H := 0.25 \cdot D = 0.35$$

$$h := 25$$

$$h_B := 240$$

## Додаток В

### Патенти, які використовувались в патентному дослідженні

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



УКРАЇНА

(19) UA (11) 121952 (13) U

(51) МПК (2017.01)

F28D 7/00

F28F 1/00

F28F 1/10 (2006.01)

F28F 1/40 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2017 05788  
(22) Дата подання заявки: 12.06.2017  
(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: 26.12.2017  
(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: 26.12.2017, Бюл.№ 24

(72) Винахідник(и):  
Мікульонок Ігор Олегович (UA),  
Андреев Ігор Анатолійович (UA),  
Орел Олексій Юрійович (UA)  
(73) Власник(и):  
Мікульонок Ігор Олегович,  
вул. Райдужна, 10, кв. 137, м. Київ, 02218  
(UA),  
Андреев Ігор Анатолійович,  
пр-кт Леся Курбаса, 18, кв. 136, м. Київ,  
03162 (UA),  
Орел Олексій Юрійович,  
вул. Маяковського, 16, м. Бобровиця,  
Чернігівська обл., 17400 (UA)

## (54) КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК

## (57) Реферат:

Кожухотрубний теплообмінник містить корпус, штуцери, а також дві трубні решітки із закріпленими в них теплообмінними трубами. Теплообмінні труби заповнено невідповідно розміщеними в них насадковими тілами з теплопровідного матеріалу. Насадкові тіла виконано у вигляді металевих перфорованих кільцевих циліндрів.

UA 121952 U



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA (11) 117692 (13) U  
(51) МПК  
F28F 7/02 (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: u 2016 12404  
(22) Дата подання заявки: 06.12.2016  
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.07.2017  
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.07.2017, Бюл.№ 13

(72) Винахідник(и):  
Бойко Ігор Миколайович (UA)  
(73) Власник(и):  
Бойко Ігор Миколайович,  
Григорівське шосе, буд. 54, м. Харків, 61064 (UA)

**(54) ПОРТАТИВНИЙ ТУРИСТИЧНИЙ ТЕПЛООБМІННИК**

**(57) Реферат:**

Портативний туристичний теплообмінник містить корпус з розміщеними у ньому суцільнотягненими теплообмінними трубами, кінці яких вільно виходять з передньої і задньої стінок корпусу, а продукт теплообміну (нагріте повітря) виходить по трубках за допомогою вентилятора, камера згоряння палива відокремлена від їх виходу, для відведення продуктів згоряння, причому корпус камери згоряння та нагрівання герметично відокремлений від суцільнотягнених теплообмінних труб.

UA 117692 U



УКРАЇНА

(19) UA (11) 114845 (13) U  
(51) МПК (2017.01)  
F28D 7/00  
F28F 9/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

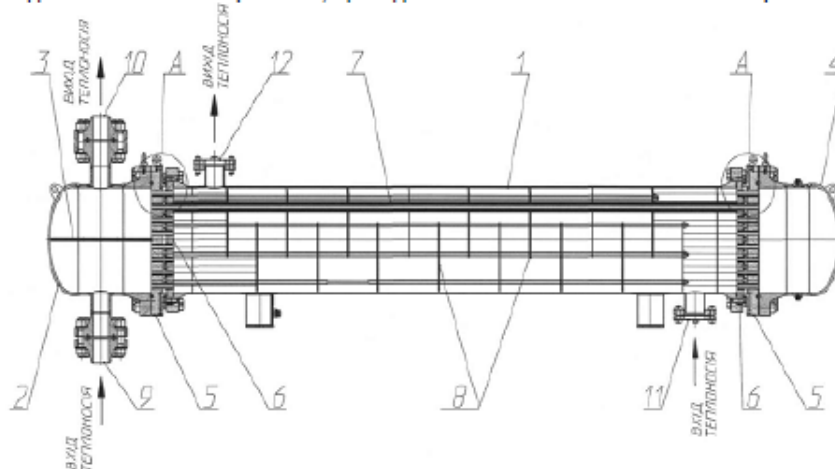
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: **u 2016 09013**  
(22) Дата подання заявки: **25.08.2016**  
(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **27.03.2017**  
(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **27.03.2017, Бюл.№ 6**

(72) Винахідник(и):  
**Смірнов Андрій Віталійович (UA),  
Середа Роман Миколайович (UA),  
Борисов Микола Анатолійович (UA)**  
(73) Власник(и):  
**ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО  
"СУМСЬКЕ МАШИНОБУДІВНЕ НАУКОВО-  
ВИРОБНИЧЕ ОБ'ЄДНАННЯ",  
вул. Горького, 58, м. Суми, 40004 (UA)**

**(54) КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК З БЕЗПЕЧНИМ КАНАЛОМ****(57) Реферат:**

Кожухотрубний теплообмінник з безпечним каналом складається з циліндричного корпусу, пучка біметалевих труб, торцевих кришок, трубних решіток, патрубків підводу та відводу теплоносіїв. Пучок виконано з біметалевих ребристих з зовнішньої поверхні труб, що мають безпечні повітряні спіральні канали, виконані на зовнішній поверхні внутрішніх труб, виходи яких поєднано в сигнальні порожнини, що з'єднані з системою автоматики та контролю.



Фіг. 1

UA 114845 U

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН51.065116.001 ПЗ

Адк.  
112





US009874410B2

(12) **United States Patent**  
**Hammerdinger et al.**

(10) **Patent No.:** **US 9,874,410 B2**

(45) **Date of Patent:** **Jan. 23, 2018**

(54) **HEAT EXCHANGER WITH ELASTIC ELEMENT**

(71) Applicant: **LINDE AKTIENGESELLSCHAFT**,  
München (DE)

(72) Inventors: **Markus Hammerdinger**, Tacherting  
(DE); **Christoph Seeholzer**, Trostberg  
(DE)

(73) Assignee: **LINDE AKTIENGESELLSCHAFT**,  
Munich (DE)

(\*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this  
patent is extended or adjusted under 35  
U.S.C. 154(b) by 218 days.

(21) Appl. No.: **14/902,011**

(22) PCT Filed: **Jul. 10, 2014**

(86) PCT No.: **PCT/EP2014/001890**

§ 371 (c)(1),  
(2) Date: **Dec. 30, 2015**

(87) PCT Pub. No.: **WO2015/007375**

PCT Pub. Date: **Jan. 22, 2015**

(65) **Prior Publication Data**

US 2016/0370130 A1 Dec. 22, 2016

(30) **Foreign Application Priority Data**

Jul. 16, 2013 (EP) ..... 13003569

(51) **Int. Cl.**  
**F28D 7/02** (2006.01)  
**F28F 9/00** (2006.01)

(Continued)

(52) **U.S. CL**

CPC ..... **F28F 9/005** (2013.01); **F28D 7/04**  
(2013.01); **F28F 9/013** (2013.01); **F28F**  
**9/0132** (2013.01); **F28F 2265/26** (2013.01)

(58) **Field of Classification Search**

CPC ..... **F28F 9/005**; **F28F 9/013**; **F28F 9/0132**;  
**F28F 2265/26**; **F28D 7/04**

(Continued)

(56) **References Cited**

**U.S. PATENT DOCUMENTS**

3,603,383 A \* 9/1971 Michael ..... **F22B 1/026**  
165/158

4,211,546 A \* 7/1980 Jensen ..... **B01J 19/0013**  
422/203

(Continued)

**FOREIGN PATENT DOCUMENTS**

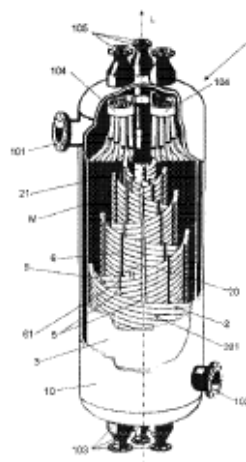
DE 4115250 C1 \* 9/1992 ..... **F28D 7/024**  
FR 2 319867 A1 2/1977

*Primary Examiner* — Justin Jonaitis

(57) **ABSTRACT**

A heat exchanger for indirect heat exchange between a first fluid and a second fluid, with a shell surrounding a shell space for receiving the first fluid, a tube bundle having a plurality of tubes arranged in the shell space for receiving the second fluid, the tubes arranged in a number of tube layers, and a jacket arranged in the shell space and enclosing an outermost tube layer in the radial direction of the tube bundle. An intermediate space is formed between the tube bundle and the jacket surrounds the tube bundle. At least one elastic element is arranged with a first region between neighboring tube portions in the outermost tube layer and a second region that protrudes out of the outermost tube layer and abuts an inner side of the jacket (3) that is facing the tube bundle or connects the elastic element to the jacket.

**17 Claims, 3 Drawing Sheets**



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН51.065116.001 ПЗ

Адк.

113



(12) **United States Patent**  
**Rizzi**

(10) **Patent No.:** **US 9,919,281 B2**  
(45) **Date of Patent:** **Mar. 20, 2018**

(54) **SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER  
WITH A SHELL HAVING A POLYGONAL  
SECTION**

(71) Applicant: **Casale SA**, Lugano (CH)

(72) Inventor: **Enrico Rizzi**, Casnate con Bernate (IT)

(73) Assignee: **Casale SA**, Lugano (CH)

(\*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 115 days.

(21) Appl. No.: **15/106,060**

(22) PCT Filed: **Dec. 16, 2014**

(86) PCT No.: **PCT/EP2014/077902**

§ 371 (c)(1),

(2) Date: **Jun. 17, 2016**

(87) PCT Pub. No.: **WO2015/091442**

PCT Pub. Date: **Jun. 25, 2015**

(65) **Prior Publication Data**

US 2016/0303533 A1 Oct. 20, 2016

(30) **Foreign Application Priority Data**

Dec. 18, 2013 (EP) ..... 13197955

(51) **Int. CL**  
**B01J 19/00** (2006.01)  
**B01J 19/24** (2006.01)

(Continued)

(52) **U.S. CL**  
CPC ..... **B01J 19/0013** (2013.01); **B01J 19/2415**  
(2013.01); **C01C 1/02** (2013.01);

(Continued)

(58) **Field of Classification Search**

CPC .... B01J 19/00; B01J 19/0006; B01J 19/0013;  
B01J 19/24; B01J 19/2415;

(Continued)

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,797,569 A 3/1974 Meder et al.

4,147,208 A 4/1979 Naegelin

(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

CN 201772781 U 3/2011

DE 1 501 045 A1 4/1969

(Continued)

OTHER PUBLICATIONS

International Search Report issued in connection with PCT/EP2014/077902.

(Continued)

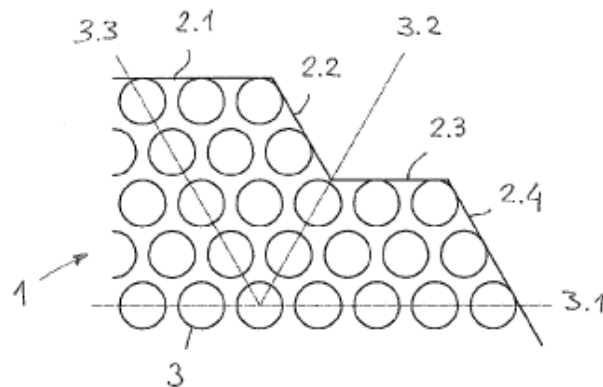
Primary Examiner — Natasha Young

(74) Attorney, Agent, or Firm — Akerman LLP

(57) **ABSTRACT**

Heat exchanger comprising a tube bundle (1) and a shell (2) which surrounds said tube bundle, said tube bundle comprising tubes (3) arranged with a square or triangular pitch, wherein said shell (2) has a cross-section, in a plane perpendicular to said tubes, having the form of an irregular polygon; said irregular cross-sectional polygon has a number of sides which is a multiple of three or multiple of four for tube bundles with a triangular or square pitch, respectively; the sides of said cross-sectional polygon are parallel to the directional lines of the tubes.

**9 Claims, 5 Drawing Sheets**



**Додаток Г**

**Публікації автора**

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

студента групи ЛН-51

### ШАХУНОВА МИХАЙЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧА

1. Патент України №133145 «Кожухотрубний теплообмінник»; заявл. 25.03.2019; заявн.: Гулієнко С.В., Шахунов М. О.

2. Модернізація кожухотрубного теплообмінника у схемі очищення метилового спирту-сирцю / Шахунов М. О., Гулієнко С.В., // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»: XXIV всеукраїнська наукова-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ 22-23 квітня 2019р.): зб. тез доп. –К.: НТУУ «КПІ», 2019р. – Секція 1. – 18-19 .

3. Модернізація кожухотрубного теплообмінника у схемі очищення метилового спирту-сирцю / Шахунов М. О., Гулієнко С.В., // «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»: XXIII всеукраїнська наукова-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених, (Київ 28-29 листопада 2018р.): зб. тез доп. –К.: НТУУ «КПІ», 2018р. – Секція 1. – 21-22.

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		116



УКРАЇНА

(19) UA (11) 133145 (13) U

(51) МПК

F28D 7/16 (2006.01)

F28F 13/08 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

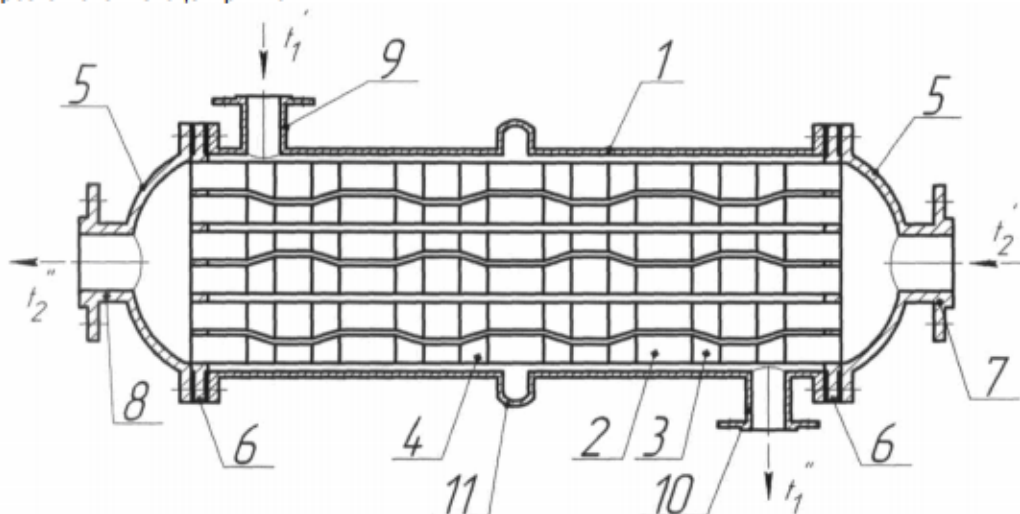
(21) Номер заявки: **u 2018 10308**  
(22) Дата подання заявки: **17.10.2018**  
(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **25.03.2019**  
(46) Публікація відомостей **25.03.2019, Бюл.№ 6**  
про видачу патенту:

(72) Винахідник(и):  
**Шахунов Михайло Олександрович (UA),**  
**Гулієнко Сергій Валерійович (UA)**  
(73) Власник(и):  
**Шахунов Михайло Олександрович,**  
пр-т Володимира Маяковського, 55а, кв. 13,  
м. Київ, 02222 (UA),  
**Гулієнко Сергій Валерійович,**  
пр. Оболонський, 36, кв. 181, м. Київ-214,  
04214 (UA)

## (54) КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК

## (57) Реферат:

Кожухотрубний теплообмінник має пучок труб змінного діаметру з почерговими циліндричними ділянками і з'єднувальними конфузюрними і дифузюрними ділянками. Циліндричні ділянки розташовані ексцентрично.



UA 133145 U

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛН51.065116.001 ПЗ

Адк.

117



УДК 661.721

**МОДЕРНІЗАЦІЯ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМІННИКА  
У СХЕМІ ОЧИЩЕННЯ МЕТИЛОВОГО СПИРТУ-СИРЦЮ**

студент Шахунов М.О. к.т.н., ст. викл. Гулієнко С. В.

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Спирт-сирець являє собою безбарвну прозору рідину, що містить до 2 % органічних домішок, і саме тому має неприємний запах.

Вміст домішок у спирті-сирці хоч і невеликий, однак, для отримання чистого метилового спирту потрібна багаторазова ректифікація спирту-сирцю у поєднанні з екстракцією. Схема такої очистки зображена на рисунку 1.

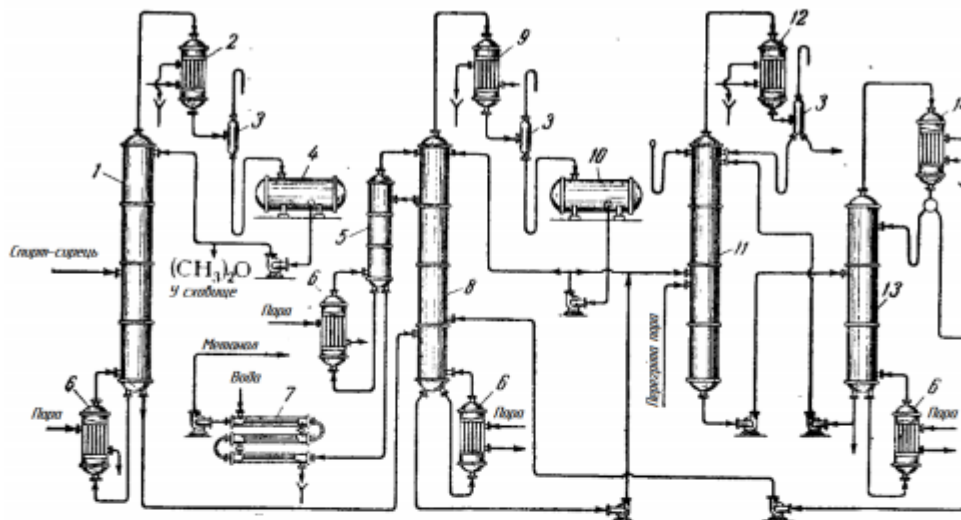
У колоні 1 зі спирту-сирцю відганяють диметилловий етер, пари якого потрапляють у конденсатор 2. Конденсат відділяється від неконденсуючихся газів у сепараторі 3 і поступають у збірник 4, звідки частина етеру подається на зрошення колони 1, а інше прямує у сховище. Кубова рідина із колони 1 подається в колону 8, із якої відбирають три фракції. З середніх тарілок відбирається концентрований метиловий спирт с невеликою кількістю низькокиплячих домішок, відокремлюваних у колоні 5; із кубової частини колони 5 виходе чистий метанол, який охолоджується у теплообміннику 7 і перекачується на склад. З верхніх тарілок колони 8 відводять пари низькокиплячих сполук разом зі значною кількістю парів метанолу. Пари потрапляють у конденсатор 9; конденсат після відділення від газів у сепараторі подається в збірник 10. Частина цього конденсату використовується у вигляді флегми для зрошення колони 8, а залишок потрапляє в колону екстрактивної перегонки 11. Кубова рідина із колони 8 також подається у колону 11. Колона 11 обігривається перегрітим паром і зрошується водою. При розбавленні рідини в колоні водою азеотропні суміші руйнуються і полегшується відгонка домішок із спирту. Пароподібні домішки конденсуються в апараті 12; частина конденсату повертається на зрошення колони 11, залишок виводять із системи. Сполуки, які не конденсуються після відділення від рідини у сепараторі 3

29

					ЛН51.065116.001 ПЗ	Адк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119



видаляють в атмосферу. Із нижньої частини колони 11 розведений метанол передають в колону 13. Концентрований метанол (дистилат) із конденсатору 14



направляють у колону 8 для вилучення чистого метанолу.

1, 5, 8, 13 – ректифікаційні колони ; 2, 9, 12, 14 – конденсатори;

3 – сепаратор; 4, 10 – збірники; 5 – випарний апарат; 6 – кип'ятильник;

7 – теплообмінник; 11 – колона екстрактивної перегонки;

Рисунок 1 – Схема очистки метилового спирту-сирцю

Підбиваючи підсумки, можна сказати, що теплообмінник 7 виконує важливу функцію в процесі очищення, тому його модернізація є актуальною задачею.

#### Перелік посилань:

1. Юкельсон И.И. Технология основного органического синтеза. Издательство «Химия», 1968 г., с. 384.



УДК 661.721

## МОДЕРНІЗАЦІЯ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМІННИКА У СХЕМІ ОЧИЩЕННЯ МЕТИЛОВОГО СПИРТУ-СИРЦЮ

студент Шахунов М.О., к. т. н., ст. викл. Гулієнко С. В.

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

У хімічній та нафтопереробній промисловості метиловий спирт служить селективним розчинником для очищення бензинів від меркаптанів і азеотропним агентом при виділенні толуолу ректифікацію. У суміші з етиленгліколем метиловий спирт застосовується для екстракції толуолу з бензинів. Вміст домішок в спирті-сирці невеликий, проте зважаючи на утворення різних азеотропних сумішей для отримання чистого метилового спирту потрібно багаторазова ректифікація спирту-сирцю в поєднанні з екстракцією.

Охолодження чистого метанолу - важлива частка процесу очищення метилового спирту-сирцю, тому модернізація теплообмінника є актуальною задачею.

Метою модернізації є вдосконалити кожухотрубний теплообмінник, в якому б нове виконання труб забезпечило б підвищення ступеню турбулізації.

Поставлена задача досягається тим, що в кожухотрубному теплообміннику, що містить пучок труб змінного діаметру з почерговими циліндричними ділянками і з'єднувальними конфузорними і дифузорними ділянками, який відрізняється тим, що циліндричні ділянки розташовані ексцентрично.

Ідея пояснюється кресленням. На рисунку 1 представлений загальний вид апарата.

Кожухотрубний теплообмінник складається з кожуха 1, з пучка труб, що містить циліндричні ділянки 2, конфузорні ділянки 3, дифузорні ділянки 4, з колекторів 5, з трубних дошок 6, з штуцерів для введення теплоносія трубного простору 7, для виведення теплоносія трубного простору 8, штуцер для

введення теплоносія міжтрубного простору 9, та виведення теплоносія з міжтрубного простору 10, з лінзового компенсатора 11.

Кожухотрубний теплообмінник працює наступним чином. Теплоносій трубного простору подається через штуцер 7 у колектор 5, після чого теплоносій потрапляє у трубний пучок. У свою чергу, теплоносій міжтрубного простору подається через штуцер 9 у міжтрубний простір. Теплота від первинного теплоносія, що проходить в міжтрубних поздовжніх каналах зі складною просторовою конфігурацією передається через стінки труб до вторинного теплоносія, що проходить всередині трубних каналів. Далі, первинний теплоносій виходить через штуцер 10, а вторинний, у свою чергу, потрапляє у колектор 5, та виходить через штуцер 8.

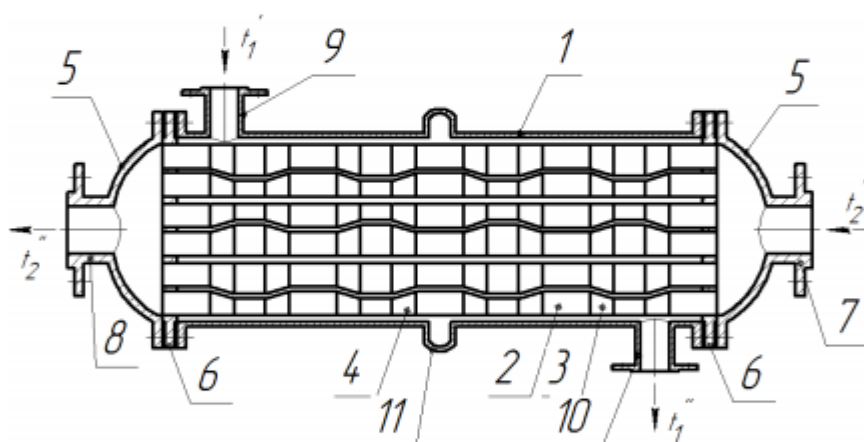


Рисунок 1. – Схема модернізації теплообмінника

Підбиваючи підсумки, можна сказати, що таке виконання дозволяє підвищити ступінь турбулізації.

#### Перелік посилань:

1. Юкельсон И.И. Технология основного органического синтеза. Издательство «Химия», 1968 г., с. 384.
2. Заявка на патент України. Кожухотрубний теплообмінник / Шахунов М.О., Гулієнко С. В.; заявник і патентовласник вони ж. – № u201810308; заявл. 17.10.2018